

土木研究所資料

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
土砂管理研究グループ
火山・土石流チーム

Copyright © (2007) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

天然ダム監視技術マニュアル（案）

土砂管理研究グループ	火山・土石流チーム	上席研究員	田村 圭司
〃	〃	主任研究員	山越 隆雄
〃	〃	交流研究員	松岡 暁
〃	〃	交流研究員	伊藤 洋輔
〃	〃	前交流研究員	田方 智*1
〃	〃	前交流研究員	柳町 年輝*2

要 旨

平成16年新潟県中越地震により、信濃川水系の芋川流域において多数の天然ダムが発生した。また、平成20年に発生した岩手・宮城内陸地震においても、栗駒山周辺において多数の天然ダムが生じた。本報は、その際の教訓を踏まえ、天然ダムの監視技術についてこれまで検討した結果をまとめたものである。

*1 現 日本工営（株）

*2 現 （株）拓和

キーワード：天然ダム 地震 監視

はじめに

地震や豪雨を起因とした崩壊等によって、崩壊土砂が河道を埋塞し、天然ダムを形成することがある。天然ダムの形成により、上流側では湛水による浸水被害が、下流側では天然ダム決壊による土石流等が下流域に大きな被害を及ぼす可能性がある。わが国ではこのような災害事例として、過去には、1889年十津川災害、1953年有田川災害や1984年長野県西部地震による御岳崩れが、最近では、2004年新潟県中越地震による芋川流域の天然ダムや2008年岩手・宮城内陸地震による栗駒山山麓の天然ダムが記憶に新しい。

本マニュアルは、既存の文献「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（平成4年3月）等に基づき、最近の2004年10月23日新潟県中越地震および2008年6月14日岩手・宮城内陸地震で発生した天然ダムへの対応事例や明らかになった技術的課題を踏まえて作成された。現時点までに得られている知見、データ、技術情報をもとに天然ダムが形成された場所で必要となる監視を実施するために必要な技術を総覧できるように取りまとめた。本書が、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希望する。

なお、天然ダムへの対応全般については、上記の報告書のほか、「大規模な天然ダムの形成・決壊を対象とした異常土砂災害対応マニュアル（案）」（平成17年3月（財）砂防フロンティア整備推進機構）、または、「天然ダム形成時における土砂災害対応ガイドライン」（国土技術政策総合研究所作成中（平成20年12月時点））を用いられたい。

最後に、本マニュアルの作成にあたっては、平成16年新潟県中越地震後の天然ダム等に対応した国土交通省北陸地方整備局、新潟県土木部砂防課、また、平成20年岩手・宮城内陸地震後の天然ダムに現在も対応中の国土交通省東北地方整備局の天然ダム対応関係者から多大な助言、情報提供を受けた。また、（財）砂防フロンティア推進機構森俊勇理事長、京都大学大学院農学研究科の水山高久教授、ならびに、長野県建設部砂防課栗原淳一課長からは、記載内容全般にわたって懇切なご指導をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

目 次

	頁
1. 本マニュアルの目的	1
2. 天然ダム監視について	3
2.1 天然ダム監視の目的と項目	3
2.2 天然ダム監視体制整備の留意点	8
3. 天然ダム概況把握	9
3.1 基礎資料の確認・収集	9
3.2 天然ダム全般の状況把握（概況調査）	10
(1) 現地踏査	10
(2) ヘリコプター調査	11
4. 監視・把握	13
4.1 天然ダム全体状況の監視・把握	13
4.2 湛水位の監視	16
4.3 湛水部への流入流量の把握	23
(1) 連続流量観測による流入流量の把握	24
(2) 定期的な流量観測による流入流量の把握	24
(3) H-V曲線と水位観測による流入流量の把握	25
(4) 雨量観測による流入流量の予測	25
4.4 閉塞部の監視	27
(1) 越流侵食による決壊に対する監視	28
(2) すべり崩壊あるいは進行破壊による決壊に対する監視	30
4.5 閉塞部からの流出流量の把握	32
4.6 崩壊部および周辺部の状況の監視	33
(1) 崩壊の前兆現象の把握	33
(2) 斜面変位の観測	33
4.7 閉塞部決壊による土石流等発生監視	36
(1) 水位計（超音波式水位計等）による検知	36
(2) 振動検知式土石流センサー（振動センサー）による検知	37
(3) 監視員または監視カメラによる監視	38
(4) 接触型センサー（ワイヤーセンサー等）による検知	38
(5) 雨量観測による土石流発生予測	39
5. 監視情報伝送システムの選定	40
(1) 衛星小型画像伝送装置（Ku-SAT）	41
(2) 災害対策テレメータ	43
6. 事態の推移に応じた観測機器・情報伝送システムの更新	45

<参考文献>	46
<観測機器、伝送機器に関する用語解説>	47
<巻末資料>	49
1. 代表的な監視・観測機器の性能・規格	50
2. ヘリコプターによる監視	52
3. 簡易レーザ測距計によるヘリコプターからの天然ダム調査シミュレーション結果	68
4. 決壊や上流部の浸水被害発生までの時間の推定方法	71
5. 越流による天然ダム決壊時のピーク流量推定手法	75
6. 上流域からの流入流量予測手法	78
7. 地上測量機器の性能比較表	83
8. 投下型水位観測ブイ	84
9. 崩壊検知センサー	86
10. 崩壊部の計測データ管理基準値（参考資料）	87
11. 崩壊斜面の緊急計測手法（RE・M0・TE2）	88
12. 観測施設台帳の事例（岩手宮城内陸地震時の事例）	89
13. 監視情報通信システム	99
14. 天然ダム場内の監視機器の無線化について	105
15. 中越地震で発生した天然ダムの監視手法に関するヒアリング結果	106
16. 岩手・宮城内陸地震で発生した天然ダムの監視手法に関するアンケート結果	111

1. 本マニュアルの目的

本マニュアルは、天然ダムが形成された箇所において、監視を実施する際の留意点等をまとめ、天然ダム監視システムを迅速、かつ効率的に構築し、応急的な監視の円滑な実施に資することを目的としたものである。

「解説」

本マニュアルの適用範囲

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の概略調査、危険度緊急評価がなされる。本マニュアルでは、これらの調査、評価によって監視すべき天然ダムが選定された後の応急的な監視方法について述べる。

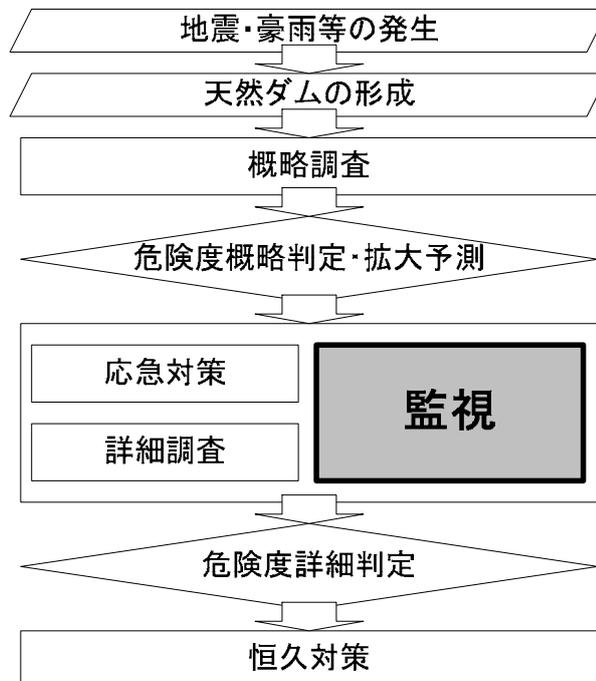


図 1.1 天然ダム対応フロー

なお、天然ダム発生後直ちに対応を要するため、監視を行う時間的余裕が全く無い場合や、規模が小さい等、監視を必要としない場合には、本マニュアルは適用しない。

本マニュアルは、事務所の土木系職員を対象に初期段階の対応を中心にまとめたものであり、図 1.1 に示す天然ダム対応フローの「監視」以外の部分については、別途国土技術政策総合研究所「天然ダム形成時における土砂災害対応ガイドライン（案）」等によって対応されたい。

本マニュアルの概要

本マニュアルでは、天然ダムが形成された箇所において、下記の項目について具体的に解説している。

- 監視の項目と方法
- 監視に必要な機器の選定
- 監視のための情報通信システムの構築

なお、本マニュアルは、既存の文献「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)”¹⁾等をもとに、平成16年10月23日に発生した新潟県中越地震による芋川の天然ダムにおける対応事例や平成20年6月14日に発生した岩手・宮城内陸地震による栗駒山周辺の天然ダムにおける対応事例を踏まえて、作成されたものである。

本マニュアルでは天然ダムが形成された場所を大きく4つに分け「湛水部」、「閉塞部」、「崩壊部」「周辺部」と呼ぶものとする(図1.2参照)。なお、周辺部とは湛水部に隣接した斜面のことを示す。

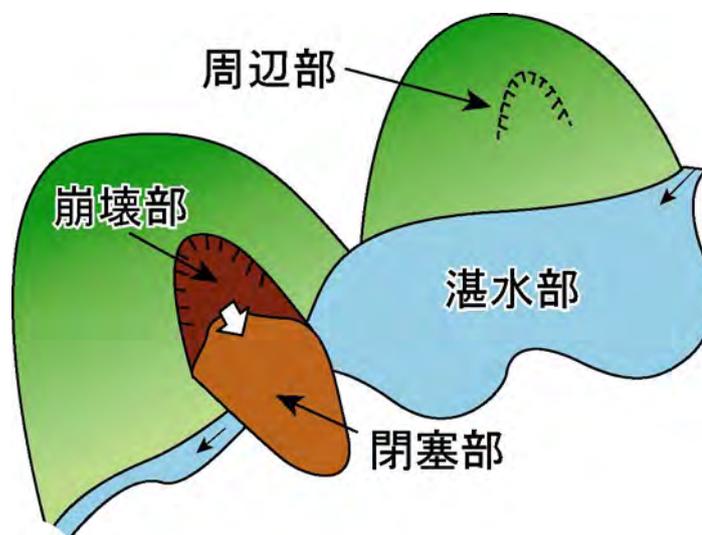


図 1.2 天然ダムの部位名称

2. 天然ダム監視について

2.1 天然ダム監視の目的と項目

天然ダム形成後の二次災害を事前に予測し、適切に対策を講じるために、天然ダム全体状況、湛水位、湛水部への流入流量、そして、閉塞部の監視等を行う。

「解説」

河道が閉塞すると、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、下流部では湛水部からの越流や浸透水の流出による閉塞部の侵食、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ある。

これらの二次災害発生危険度を評価し、適切に対策を講じるためには、閉塞部、湛水部、崩壊部、および閉塞部の上・下流の監視を実施する必要がある。

監視項目は、天然ダム形成場所、規模等により異なるが、一般的な監視項目を表 2.1 に示す。この内、新潟県中越地震および岩手・宮城内陸地震の教訓をふまえると、重要な項目として次の 4 項目があげられる。

- ①天然ダム全体状況の監視・把握
- ②湛水位の監視
- ③湛水部への流入流量の把握
- ④閉塞部の監視

表 2.1 天然ダム形成後の監視項目と手法・観測機器

	監視の目的	監視項目	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	・崩壊の前兆現象 ・斜面変位	・目視判読 ・地表伸縮計、崩壊検知センサー、抜き板、 移動杭、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

: 重要項目

天然ダム形成後の監視の流れを図 2.1、天然ダム監視・観測機器の配置等のイメージを図 2.2 に示す。また、本マニュアルで示した監視・観測機器の選定条件についてまとめたものを表 2.2 に示す。

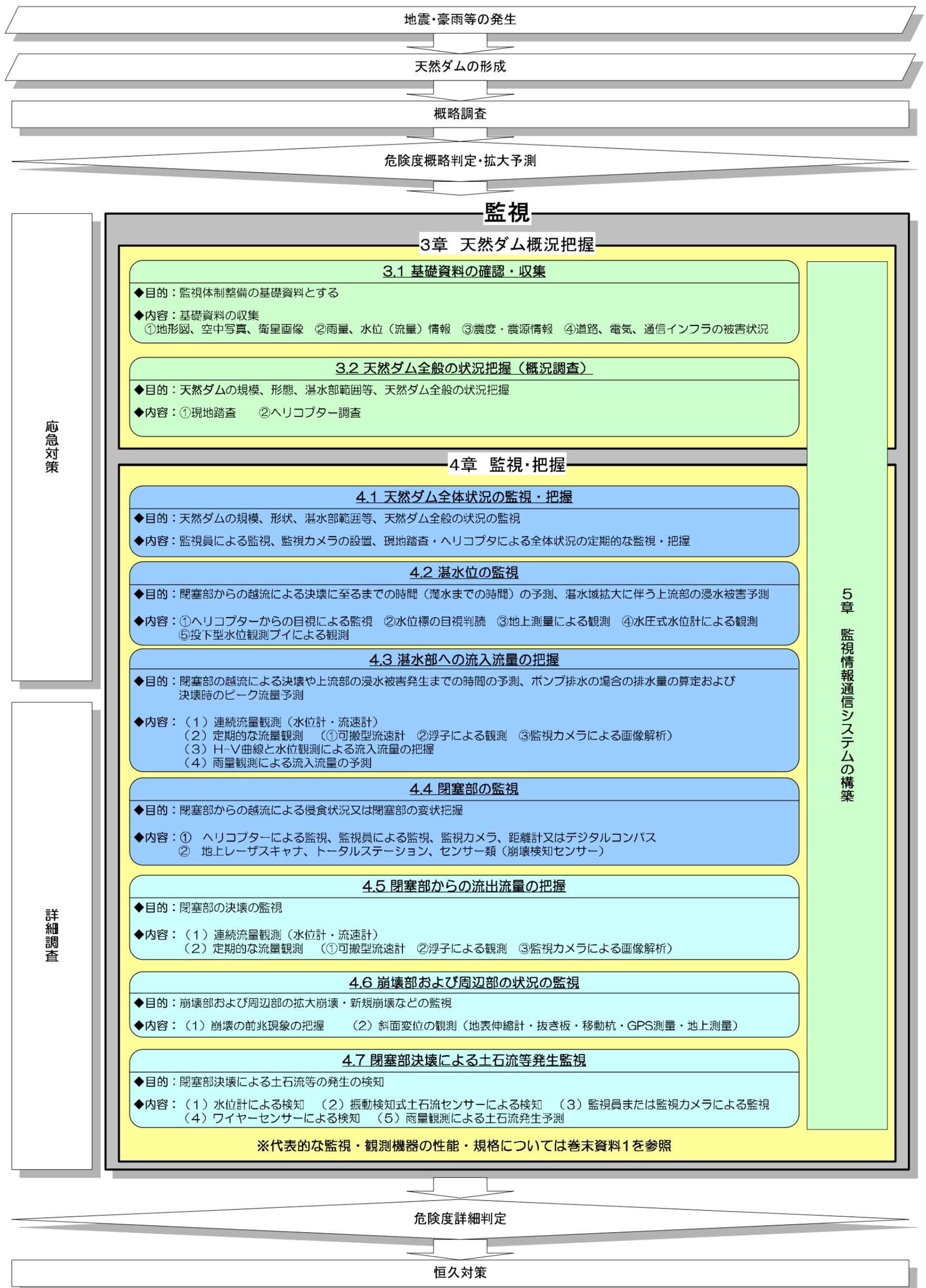
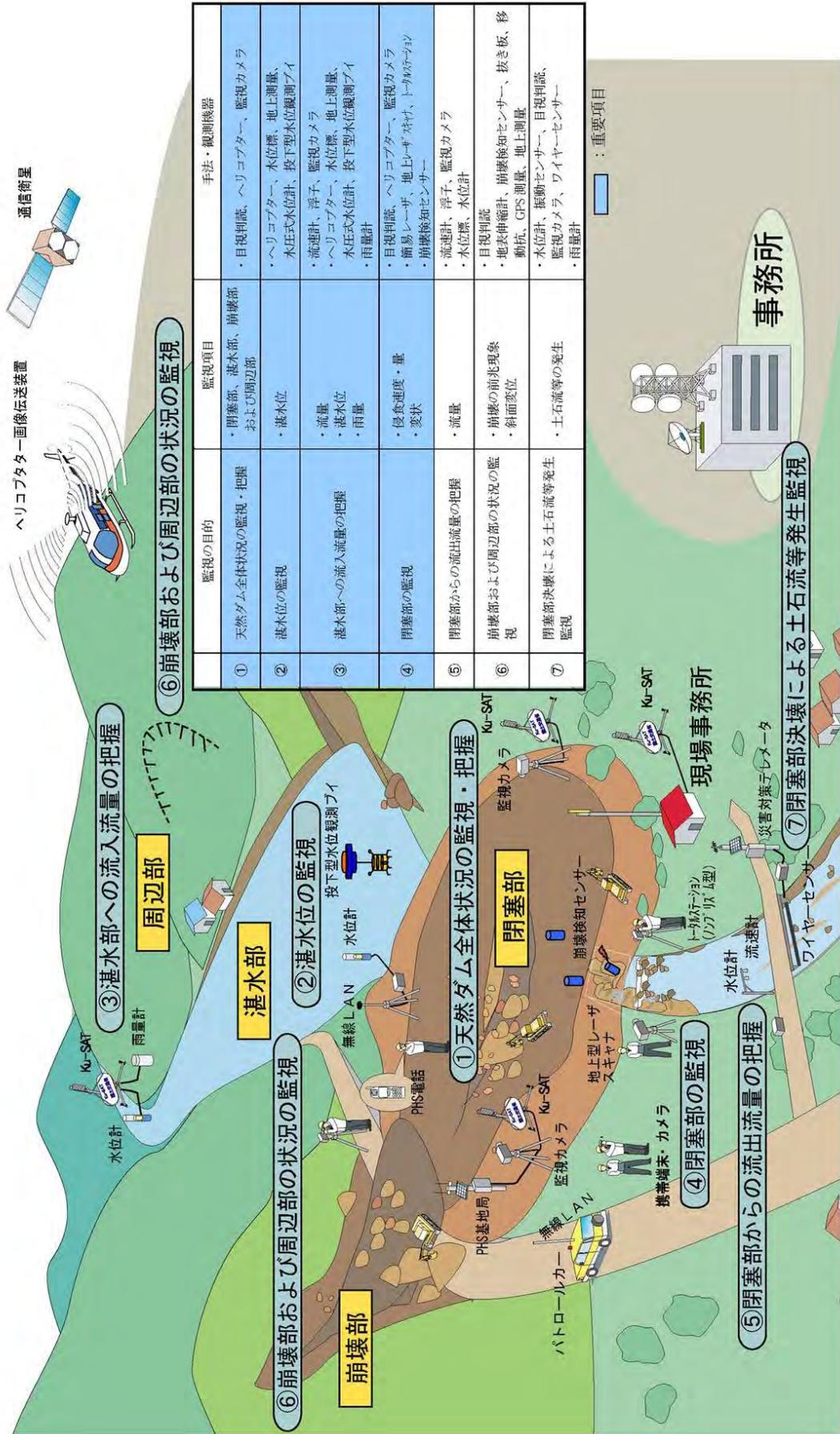


図 2.1 天然ダム形成後の監視の流れ
 (注: 非着色部分は本マニュアルの対象外)



	監視の目的	監視項目	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、地上レーザ計、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	崩壊の前兆現象 斜面変位	目視判読 地表伸縮計、崩壊検知センサー、抜き板、移動杭、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	監視カメラ、ワイヤースペースナー 雨量計

重要項目

図 2.2 天然ダム監視全体イメージ

表 2.2 天然ダム監視・観測機器選定条件

監視内容	全体状況	水位			降雨量	流速		侵食量		移動量		通信方式			
		水位標の目視	測量機器による計測	投下型水位観測パイ		水圧式水位計	転向まが型雨量計	浮子	携帯型簡易流速計	距離計(簡易レーザ)	地上測量機器(トータルステーション/3Dレーザースタター)	地上測量	伸縮計	衛星携帯電話	衛星通信システム
監視機器	監視カメラ(市販のビデオカメラ等)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
監視の目的	①漏水	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	②漏水初への流入流量	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	③閉塞部	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	④閉塞部からの流出流量	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	⑤閉塞部および周辺部の状況	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	⑥土石流等発生	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
設置運用・環境条件	可搬性(人カのみ)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	迅速性(観測体制の整備時間)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	無人自動連続観測	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	電源(人カで連続可能なバッテリー・太陽電池で運用)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	夜間	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	大雨・霧	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
情報の伝達経路	携帯電話	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	衛星携帯電話	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	衛星小型面状伝送装置(KU-SAT)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	国土交通省移動通信システム(K-COSMOS)	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	災害対策用テレメータ	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
備考															

●観測機器

●伝送機器

※1 機器の運用可能時間は、観測頻度や利用したバッテリー容量により変わる。(一般連続使用例:ビデオカメラ・専用大容量バッテリー使用:5時間程度、O3Dレーザースタター・専用バッテリー:数時間程度)

※2 観測機器の手配に時間を要する場合はある

※3 PC等を利用し静止画伝送

※4 電話機能を使い口頭にて伝えるか、PC等に手入力データ通信を行う

※5 電話機能を使い口頭で伝える

※6 テーラガー・PC・モデム等に連続してデータ通信を行う

※7 緊急対応として、簡易的なポールやパイプを利用しアンテナを設置する

※8 システム構築に起因する検知から伝送までの時間遅れが重大な影響を及ぼす場合がある

※9 以内に特定小電力無線装置を収容して送信し、無線受信した後に信号変換することにより対応可能

2.2 天然ダム監視体制整備の留意点

基礎資料収集、概況調査結果をもとに、機材の準備状況、現地の電力・通信・交通インフラの破損状況を考慮して、実施可能な天然ダム監視体制を整備する。監視にあたっては、可能な限り複数の手法を用いることにより、データの信頼性の確保に努める。

「解説」

(1) 監視体制の整備

監視体制整備には一定の時間を要する。長い時間をかければより高精度な監視を行う体制を組むことができるが、監視体制整備可能期間^{*}、機材の準備状況、現地の電力・通信インフラ破損状況、他機関の対策・監視体制、そして、現地への道路交通事情に応じて実施可能な監視体制を組む必要がある。個々の監視項目における監視手法、機器選定については、第4章を参照のこと。

本マニュアルで定める監視体制は、あくまで応急的なものであることから、個々の監視手段による監視データの信頼性は平常時に比べて低くならざるを得ない。そこで、監視対象である天然ダムの重要度を考慮しつつ、なるべく単一の監視手法、単一の通信手段に頼らない多重的な監視体制を整備することが望ましい。

たとえば、重要な監視項目である流入流量は、流入河川の流量を直接計測することによるばかりでなく、湛水部の水位計測結果から単位時間内の水位増分を求めることによっても求めることができるので、二通りの手法で求めることが重要である。また、水位計測にあたって、連続的に自動観測可能な水位計が設置できたとしても、水位標による目視監視も並行して実施する方が良い。

(2) 監視体制の見直し

天然ダムの状況や保全対象の状況の推移、そして気象条件の変化に応じて、監視体制を随時見直す。なお、監視期間が長期化する場合のより持続的な監視体制構築に関する留意点については、第6章を参照のこと。

※監視体制整備可能期間の決定

監視体制整備は、少なくとも、対象とする天然ダムが決壊してしまったり、上流の家屋が浸水してしまう前までに済ませなければならない。監視体制の整備の迅速さが最優先されるが、満水または浸水までの猶予時間を推定することで、監視手法の改善等、監視体制の随時の見直しが可能な期間が求められる。

まず、概況調査結果等から求めた天然ダムの諸元や周辺の保全対象の位置等を踏まえ、天然ダム箇所周辺の大縮尺図面から、満水位および天然ダム上流域の浸水被害が生じる恐れのある湛水位を求め、低い方の水位に対応する容量（V）を求める。

上流からの流入流量が水位上昇速度などの現地調査により推定できる場合には、それを流入流量（ Q_{in} ）として、 V/Q_{in} より満水または浸水までの時間を推定し（巻末資料4参照）、それをもとに監視体制の整備にかけることが可能な期間を決定する。

なお、現地調査によって推定できない場合には、近隣に存在する観測所の流量観測データ（至近10年間程度）を用いて単位面積当りの月別平均日流量等を整理し、天然ダム上流の流域面積に乗ずることで、天然ダム形成時期に応じた湛水部への流入流量（ Q_{in} ）を概略推定する。

3. 天然ダム概況把握

3.1 基礎資料の確認・収集

監視体制整備の基礎資料とするために、地形図や流域空中写真・衛星画像、雨量・水位(流量)観測所等の情報を収集し確認する。

「解説」

地震や豪雨等により天然ダムの発生が報告された場合、緊急的に二次災害防止のための広域の概略調査、危険度概略判定がなされる。これらの調査、判定により監視すべき天然ダム箇所が選定された場合、その後の監視体制整備のために、天然ダム形成位置、保全対象の分布状況を確認するとともに、流域状況（流域規模、流路平面・縦断状況、砂防施設設置状況等）および湛水予想範囲を早急に把握する必要がある。

また、崩壊斜面の拡大や湛水位の上昇・決壊に伴い被害の拡大するおそれがあるため流域の雨量状況とともに湛水部への流入流量を把握する必要がある。さらに被害の拡大の誘因となる余震等の地震情報も把握する必要がある。

したがって、次の資料や情報を確認し収集する必要がある。

- 大縮尺地形図（1/1,000～1/5,000）
- 広域地形図（1/10,000～1/25,000）
- 縦断図（湛水域の上流端～保全対象まで）
- 横断図（湛水域、閉塞部、保全対象周辺、その他流下区間におけるトラブルスポット（橋梁など））
- 流域空中写真または衛星画像（天然ダム形成後）
- 流域の雨量、河川の水位（流量）情報
- 震度、震源に関する情報
- 道路、電気、通信インフラ被害状況

なお、これらの基礎資料については、概略調査時にある程度、確認・収集されているものと考えられる。例えば、国土地理院は大きな災害が発生した場合には、緊急的に空中写真や図面を提供しているため、それを入手し活用する。ここでは、天然ダムの監視に必要な資料を再度確認し、不足資料を収集するものとする。

3.2 天然ダム全般の状況把握（概況調査）

天然ダムの規模、形態、湛水部範囲等、天然ダム全般の状況を把握することを目的に、現地踏査、ヘリコプター、監視カメラによる調査を実施する。また、調査結果は、監視体制整備の基礎資料とする。

「解説」

広域の概略調査時に天然ダム箇所規模、形態、範囲等全般の状況はある程度把握されているものと考えられるが、監視にあたって必要となる次の項目を確認し、必要に応じて再度調査を実施する。調査方法としては、現地踏査、ヘリコプターによる手法があげられる。

- 崩壊部：崩壊地の拡大可能性、地質、幅、長さ、発生源面積、比高
推定最大崩壊深、推定移動土塊量、崩壊地の勾配
- 閉塞部：天然ダムの高さ・長さ・幅・上下流法勾配
構成材料の透水係数・粒度分布、越流川幅、越流流量
堤体の侵食箇所と形状、堤体土砂の侵食状況
天然ダム形成前の元河床勾配
- 湛水部：天然ダム湛水池への流入流量、
天然ダム湛水池の水位、天然ダム湛水池状況
満水までの比高・容量、天然ダム上流の流域面積
- 周辺部：天然ダム湛水池周辺の斜面の崩落等

これらの調査項目には定性的なものも含まれるが、今後の監視を実施していく上で、基礎的な情報となるため重要である。また、監視機器設置の制約条件となりうる事項を確認しておく必要がある。

表 3.2 に天然ダム全般の調査結果を記入する様式例を示す。

(1) 現地踏査

概況調査は二次災害の危険がないと判断される箇所から、目視、写真撮影、ビデオ撮影、簡易レーザ、GPS などにより、天然ダム全般（主に閉塞部・湛水部・崩壊部）の状況を把握し記録する。可能であれば、仮の水位標を設置しておく。また、観測機器の設置箇所および設置可能な人工構造物の有無（護岸、橋梁など）、電源の確保方法、現地へのアクセス方法などを確認しておく。

調査には、携帯電話（複数社が望ましい）・K-COSMOS・衛星携帯電話等の通信機器を持参し、通信状況を確認する。また、通信可能な場合、必要に応じて情報・画像をリアルタイムで事務所等に伝送する。

(2) ヘリコプター調査

ヘリコプターにより上空から流域内全般を調査し、閉塞部の位置、規模、形態、決壊の危険性、湛水部の大きさ、流入状況、崩壊部の規模、崩壊拡大の危険性、保全対象の位置などの情報を得る。

ただし、夜間や悪天候時にはヘリコプターによる上空からの調査は難しくなるため地上での限定的な調査となる。ヘリコプターによる調査のポイントおよび詳細については、表 3.1 や巻末資料 2・3 を参照されたい。

表 3.1 ヘリコプターによる調査のポイント

調査項目	調査（撮影及び判読）のポイント	情報の質	
		実態	変動
①位置	GPS による緯度経度情報より地形図上で位置を確認	○	
②高さ	天然ダム全体を撮影し、ビデオ映像から地形図上に描き高さ、長さ、幅を計測する 機上から簡易レーザ測距計を用いて計測を行う*	○	
③長さ		○	
④幅		○	
⑤上下流法勾配		○	
⑥流水流入量	浮木を投下して撮影し、ビデオ映像から流速、川幅を読みとる		○
⑦ダム水位（変化）	同一箇所を飛行毎に撮影し、既存の画像との比較等から読みとる		○
⑧構成材料の透水係数	天然ダムをズームアップで撮影し、ビデオ映像から推定する	○	
⑨構成材料の粒度		○	
⑩周辺の地形・人家の配置	全体を撮影したビデオ映像から読みとる。	○	
⑪人名・建物・施設等の被害状況	被災箇所はズームアップで撮影する	○	

※巻末資料 3 参照

「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（平成 4 年 3 月）」¹⁾を一部改

一方、天然ダムの規模、形状および湛水範囲等の定量的な把握にあたり、対象とする規模が大きな場合や地上からでは見通しが悪い等、全体の把握が困難な場合には、「航空レーザ測量」が有効である。この場合、3次元データの取得が可能となる。特に、天然ダム発生後の航空レーザ測量を基に作成した地形図は精度が高く、湛水部の満水までの容量を把握するのに非常に有効である。また、航空レーザ測量は比較的容易に繰り返し計測が可能であることや計測結果を直接デジタル化できるため、閉塞部や崩壊部の変位状況の把握にも有効である。ただし、計測後データ化されるまでに時間を要することから、調査後直ちにデータを活用することはできないことに注意が必要である。

また、夜間等通常のヘリコプターを飛行させることが困難な状況においては、UAV (Unmanned Aerial Vehicle) と総称される無人航空機の活用も検討すべきである。

表 3.2 天然ダム調査様式(例)

調査表作成日時； 年 月 日 時 分※
調査者；所属 氏名

①形成地区名	都道府県	市郡区	区町村	
②河川名	水系	川		
③図面名	(1/25,000)			
④天然ダム位置	緯度	経度		
⑤天然ダム形成日時	年 月 日 時 分(頃)			
⑥直接の誘因	地震・火山噴火・豪雨・融雪・その他() (地震の情報；震度・震央からの距離・余震の可能性) (豪雨の原因；台風・前線・雷雨・その他())			
⑦土砂移動形態	土石流・地すべり・崩壊・その他()			
⑧調査方法	地上・空中； 目視・測量・写真・VTR・その他			
⑨形成地区概況 (地形・地質特性)				
⑩崩壊部の状況	地質：			
	幅：	最大幅	平均幅 (m)	
	長さ：	最大長さ	平均長さ (m)	
	発生源面積：	(m ²)		
	比高：	(m)		
	推定最大崩壊深：	(m)		
	推定移動土塊量：	(m ³)		
⑪閉塞部の状況	天然ダムの高さ(H)：	(m)		
	天然ダムの長さ(L)：	天端長さL1	底部長さL2 (m)	
	天然ダムの幅(B)：	(m)		
	天然ダムの上下流法勾配(n)：	上流法勾配(m)	下流法勾配(n ₂)	
	天然ダム推定土塊量(V)：	(m ³)		
	天然ダムの構成材料の透水係数(K)：	* (m/s)		
	天然ダムの構成材料の粒度分布：	*		
	越流川幅、越流流量：	☆ (m)	(m ³ /sec)	
	堤体の侵食箇所と形状：	☆ 略図に示す		
	堤体土砂の侵食状況：	☆		
	天然ダム形成前の元河床勾配(θ)：	(°)		
	⑫湛水部の状況	天然ダム湛水池への流入流量(Q _{in})：	(m ³ /sec)	
		天然ダム湛水池の水位：	略図に示す	
天然ダム湛水池状況：		略図に示す		
満水までの比高・容量：		略図に示す 比高(h ₁ -h ₃)= (m)、容量= (m ³)		
天然ダム上流の流域面積(A)：		(k m ²)		
⑬天然ダム越流予想時刻 (満水までの容量)÷(流入流量)	(時間 分後) (日 時 分頃)			
⑭天然ダム浸水予想時刻 (浸水までの容量)÷(流入流量)	(時間 分後) (日 時 分頃)			
⑮天然ダム周辺の地形、人家等の配置	略図に示す			
⑯人命・建物・施設等の被災状況	時間経過に従い表に示す			
⑰今後の雨量、流量等の情報				
⑱その他				

※：天然ダム形成時から時間を追って、各時刻1枚ずつ作成する。
*：資料があれば記入する。
☆：閉塞部から越流が始まっている場合に記入する。
太線：現地踏査あるいはヘリコプター調査で確認すべき項目。

⑲略図・写真(写真はヘリコプターにより撮影し判読に使用したハードコピーも添付する。)

⑲対応(監視すべき場所や現地の制約条件、崩壊地の拡大可能性など)

- ・左右岸で高さ(H)が異なる場合は、左岸の高さ(H_L)、右岸の高さ(H_R)とする。
- ・天然ダムの形状のスケッチ、諸元の定義

4. 監視・把握

4.1 天然ダム全体状況の監視・把握

天然ダムの規模、形状、湛水部範囲等、天然ダム全般の状況を監視することを目的として、監視員または監視カメラにより連続監視する。また、現地踏査、ヘリコプターにより全体状況を定期的に監視・把握する。

「解説」

天然ダムの規模、形状、湛水部範囲等、天然ダム全般の状況を連続的に監視するために、監視員の配置または監視カメラを設置する。監視員の配置にあたっては、その安全管理に万全の注意を払う必要がある。また、監視が長期に及ぶ場合には、監視カメラを設置して監視することが望ましい。その他、天然ダムが大規模で、監視所、監視カメラ設置地点から全体が見渡せない場合、又は監視カメラを設置できない場合には、3.2 節で述べたような現地踏査、ヘリコプターによる調査を実施して、全体状況の連続的な監視・把握に努める。

なお、監視カメラ等による監視成果は、例えば水位計が異常値を示した場合に、現場状況（「水面に波が立っている」等）や観測機器の設置状況（「水位センサーがなんらかの理由で破損している」等）を確認できる等、観測機器データと現地状況との対応を把握する補完的な役割も有する。

監視カメラは次の事項の監視を目的として、該当箇所にそれぞれ設置することが望ましい（P7 表 2.2）。

- ① 湛水部の水位
- ② 湛水部への流入流量
- ③ 閉塞部の変状
- ④ 閉塞部からの流出流量
- ⑤ 崩壊部および周辺部の変状
- ⑥ 土石流等の発生

監視カメラは、中越地震の天然ダム形成時も災害発生から約 1 週間後に設置され、閉塞部やその周辺を連続的に監視することが可能となった。

【ヘリコプターによる監視の留意点】

天然ダムが大規模であり、監視カメラ等で全体が見渡せない場合には、ヘリコプターによる監視が有効である。調査実施時期は晴天継続時の定期的な監視と降雨後あるいは地震（余震）後等において地形変化が懸念される場合とに分けられる。以下に、ヘリコプターによる主な確認のポイントを挙げる。監視調査により閉塞部等の変化が確認された場合には、その

様子を図示し、写真撮影を実施する。なお、監視の詳細は巻末資料2を参照されたい。

<晴天継続時>

- 閉塞部下流側の水の色
 - 上流側との変化を断続的に確認する
- 閉塞部上流部の湛水状況
 - 目標物を決め変化を確認する
 - なるべく同じ構図で写真撮影し、視覚的に変化を捉える
(地図、容量データ完成後には定量的な評価も可能であれば実施する)
- 閉塞部の漏水・新しい水みちの有無
 - 前回との変化を見る(調査員が変更している場合は、写真との比較を行う)
- 斜面の大規模な亀裂・ズレの有無
- 斜面の漏水、水たまりの有無

<雨天後、地震(余震)後> 次の事項を追加する

- さらに周辺に大きな天然ダムがないかを確認する
- 崩壊地の足下が洗掘を受けていないかを確認する

【監視カメラによる監視の留意点】

初動時の観測では、汎用ビデオカメラにより現地状況の画像監視を迅速に開始する。

電源はバッテリーにより数時間程度使用が可能であるが、連続監視の場合には定期的な交換が必要となるため、発動発電機を用意することが望ましい。また、発動発電機への燃料補給体制も検討しておく必要がある。

撮影は、極力画角を一定にしておいて、対象物の変化を認識しやすいようにしておく。可能であれば、水位標などを設置して水位を読み取れるようにしておく。

設置に際しては、防雨性や防塵性に配慮する。また、夜間監視も対象とする場合には照明施設の設置や高感度カメラの導入が必要となり、照明施設用の電源として発動発電機も必要となる。監視が冬季にも及ぶ場合には耐寒性にも配慮する。

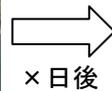
撮影した映像はKu-SATを用いてリアルタイムに遠方伝送することが可能であるが、機材が搬入されるまでの間は、携帯電話・衛星携帯電話による通信手段とPC等を利用して静止画を伝送することが可能である。

天然ダムの状況や事態の推移に応じて、長期間にわたる監視が必要となった場合には、据置型の監視カメラを設置することが望ましい。この場合には、情報通信システム等の更新とあわせて、商用電源の利用などを行う(6章参照)。



図 4.1 監視カメラと Ku-SAT

●天然ダムの湛水部監視



●天然ダム下流側流路の監視

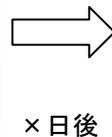


図 4.2 監視カメラによる映像監視

画角を揃えておき、変化を捉えやすいようにしておく。

【情報連絡手段】

現地と遠方の保全対象地域又は災害対策本部などの間の連絡手段を確保しておく必要がある。初動的には携帯電話、衛星携帯電話を用い、Ku-SAT が搬入されたあとはこの通話機能も併せて利用し、情報連絡手段の冗長化を図っておく必要がある。

4.2 湛水位の監視

閉塞部からの越流による決壊に至るまでの時間(満水までの時間)の予測、湛水域拡大に伴う上流部の浸水被害予測を目的に、湛水位を監視する。

「解説」

河道が閉塞すると上流部に湛水部が形成される。湛水部の水位上昇は閉塞部の越流による決壊や上流での浸水被害をもたらす。従って湛水深、閉塞部の天端までの比高、上流の浸水範囲を把握するために湛水位およびその変動を監視する。

水位は昼夜問わず上昇するため、24 時間監視が必要で、観測間隔は 1 時間間隔を基本とし、水位変動の状態により弾力的に対応する。危険なため湛水部に接近できない場合には、ヘリコプターから目視で監視することも重要である。

なお、観測した湛水位をもとに、決壊や上流部の浸水被害発生までの時間を推定する方法については巻末資料 4 に記した。

【湛水位観測方法の選定】

湛水位を監視する方法には、ヘリコプターから目視で観測する方法、投下型水位観測ブイを設置して自動観測する方法、水位標を設置して地上から目視により観測する方法、測量機器を用いて基準面と水面の比高を観測する方法、水圧式水位計による自動観測等がある。

地上から湛水部への接近が困難な場合や、二次災害の危険が高い場合には、初動的対応としてヘリコプターから目視によって湛水位を観測する。また、投下型水位観測ブイはヘリコプターから投下するだけで安全・迅速に設置できるためこれを利用することも有効である。

地上から湛水部付近へ立ち入ることが可能な場合には、水位標を設置して目視により観測する方法を用いるが、急崖などで湛水部付近まで立ち入ることができない場合は遠方から測量機器を用いて水位変化を観測する方法もある。いずれの場合も、余震等に伴う斜面崩壊や、閉塞部の決壊による土石流によって作業員が被災することの無いよう、十分に注意する必要がある。

また、決壊までに猶予時間があり、かつ機材の準備・搬入が可能な場合には、水圧式水位計や非接触式水位計を設置して、水位の自動観測を行う。なお、自動観測が開始された後も機器の精度を確認するために水位標等による目視観測は継続して行う必要がある。

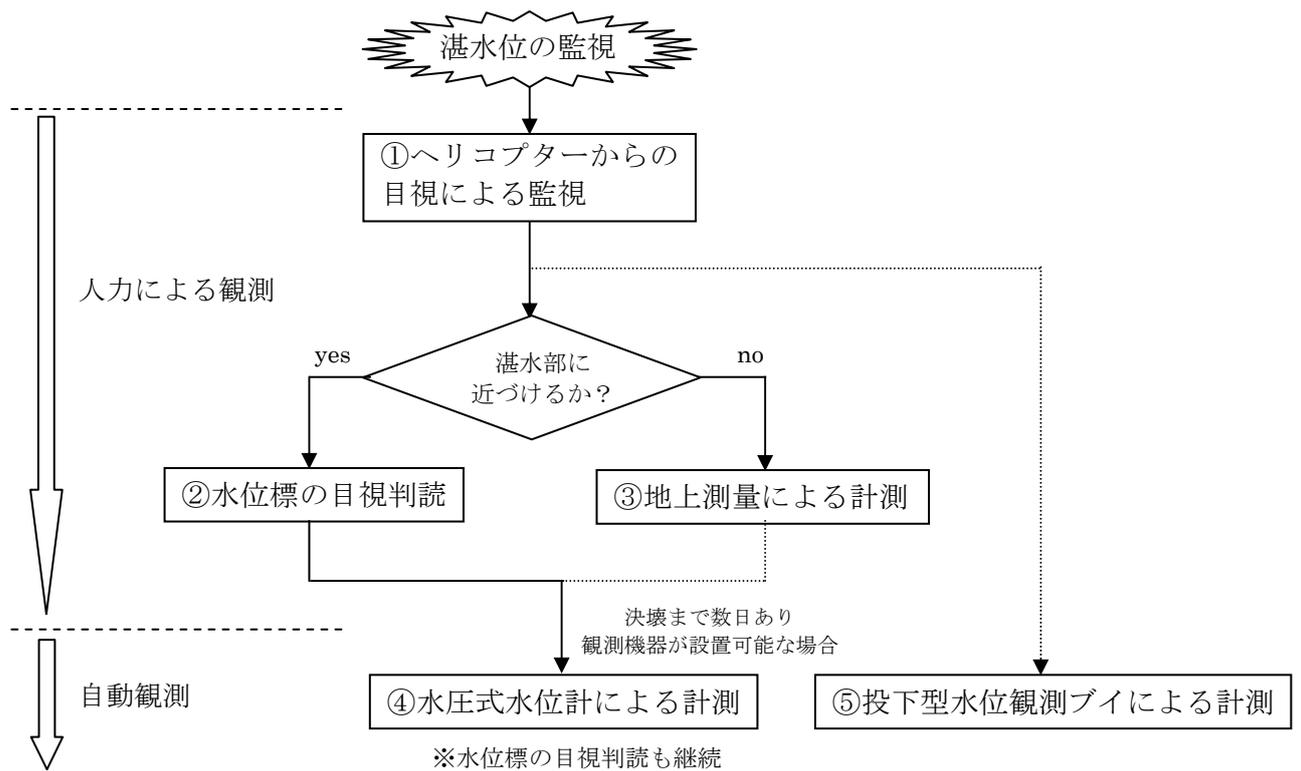


図 4.3 水位観測選定フロー

①ヘリコプターからの目視による監視

天然ダム発生後、初動時の観測および決壊までの時間が極めて限られる場合で、地上から湛水部への接近が困難な場合には、ヘリコプターから目視によって湛水位を観測する。水位の監視にあたっては、なるべく、湛水域周辺の人工構造物等を参考にして、水位上昇を定量的に判読するように努める。また、判読する度に同じ位置・構図の写真を撮影し、次回判読する際に、水位を比較することができるようにする必要がある。

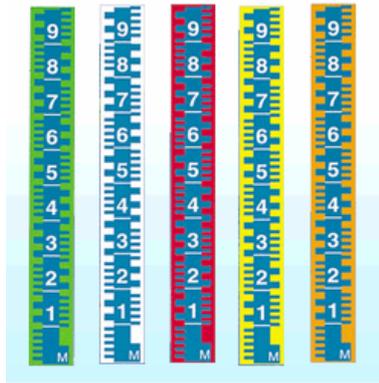
②水位標の目視判読

天然ダムの決壊が迫っている時などは、水位計や Ku-SAT の準備が間に合わない場合が多い。その場合には、水位標（河川用量水板や測量用スタッフ）を必要な測定範囲分設置し、目視により水位を定期的に観測する。また、水面付近に近寄れない場合は投げ込み式水位標（浮いているフロートを目視で計数するもの）を投げ込んで設置して観測を行う。

緊急時では昼夜問わず観測を要するため、夜間連続観測が可能な人員体制を図ったり、照明機器を配備するなどの対応が必要となる。

また、監視カメラが確保できる場合はそれによるものとし、二次災害を回避できる安全な場所でモニター監視することもよい。その後、通信・測定機器が搬入され次第、水位計と Ku-SAT による自動連続観測に移行し、遠方監視体制を構築する。

但し、自動連続観測が開始された場合でも、水位標を目視やカメラで確認できる状態を継続しておく必要がある（観測データ異常値が生じた場合の確認などのため）。



河川用量水板

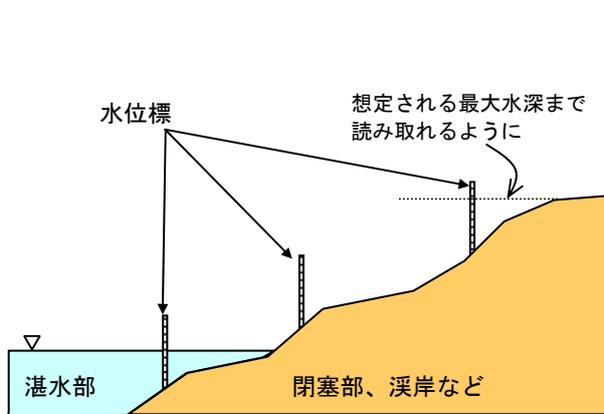
河川の水位測定に一般的に使用されており、目視で読みとりやすい。



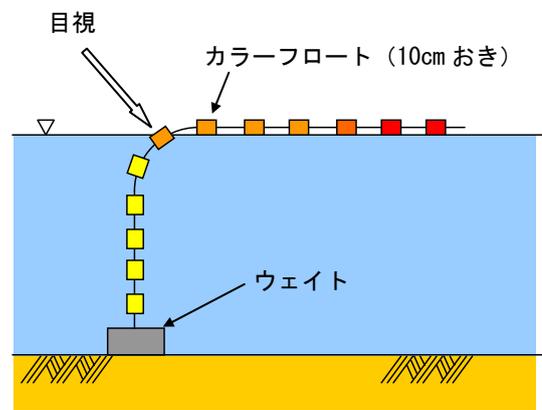
測量用アルミスタッフ

調達性に優れるが、測量用のため数字や目盛りが小さい。

図 4.4 一般的に使用される水位標の種類



河川用量水板、測量用スタッフ
(水位標を閉塞部などに打ち込める場合)



投げ込み式水位標
(急崖、土砂崩落などで水際に近寄れない場合)

図 4.5 水位標の目視判読



図 4.6 水位標の設置事例

③地上測量による観測

湛水部に近づけないなど水位標等の設置が不可能な場合は、遠方から測量機器を用いて水位変化を観測する。斜距離および高度角を計測できる測量機器（一般にはノンプリズム型、測距距離 2,000m）を用いて、基準地点と水面の比高を計測し、水位を算定する。この際、基準地点の標高（または任意高さ）をあらかじめ設定しておく。夜間は標的とする水面を照明機器で照射し観測する。

なお、この計測方法は、湛水面と溪岸の接する箇所が見通せることが条件となり、観測地点の現場状況（二次災害の危険性など）には十分注意を払う必要がある。

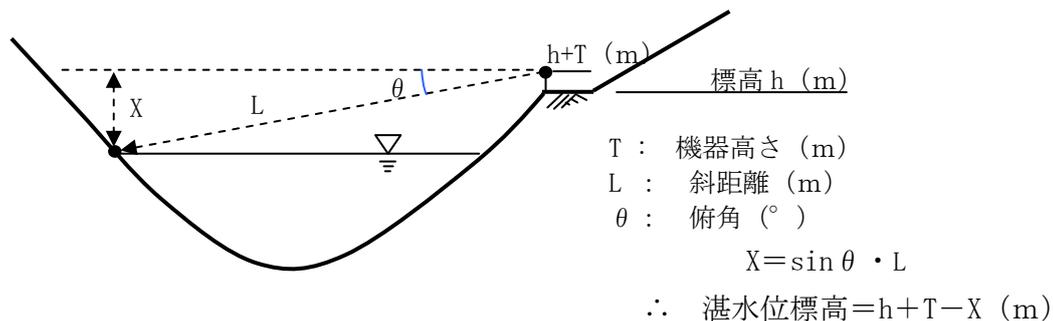


図 4.7 湛水位標高算定の概念図

④水圧式水位計による観測

人力による水位観測は非常に労力を要するため、決壊まで数日あり観測機器の準備が整った場合には、水圧式水位計などを設置して自動観測体制に移行することが望ましい。

機器の設置は、背後斜面からの土砂流入が少なく溪岸部が安定している地盤にアンカー等で堅固に固定することが望ましいが、ルーズな地盤の場合には、仮杭やおもりを付けて暫定的に設置する。なお、センサーの設置深度は、浅くすると水位低下時に水位センサーが干上がって測定できなくなり、深くすると土砂に埋没して水圧を受けることができなくなるため、深浅のバランスを考慮して安定した測定が確保できるようにする必要がある。

水位計とともに、Ku-SAT や災害テレメータも併設して自動伝送を行うものとする。

天然ダムが地震により発生している場合には、水位計設置後に余震でセンサー位置がずれる可能性もあるため、余震発生前後での水位データの不連続などが生じた場合は補正する必要がある。また水位標を併設しておきデータ精度を確認する手段を確保しておくことが望ましい。

土砂の流入が多く水圧式水位計での設置・運用が困難な場所で、かつ湛水面上に橋梁等がある場所では、非接触の水位計（超音波式・電波式・光波式）を用いることにより、土砂による埋没や流下物の衝突による破損を回避することができる。

<水位自動観測を開始できるまでに要する日数>

水位計による自動観測の開始は早いことが望ましいが、機器の手配日数、現地へのアクセスを確保するまでの日数などにより、災害発生後数日から数週間程度かかる場合が多い。また、観測機器と伝送機器のインターフェースなどの不整合も日数を増加させる要因となる。平成 20 年岩手・宮城内陸地震では 15 箇所の天然ダムが発生したが、最短で 5 日間、最長で 3 週間程度を要している。

このため、少しでも早い水位自動監視を実現するためには、機器の事前準備による手配日数の軽減、ヘリコプターによる運搬や設置による設置日数の軽減が必要となる。

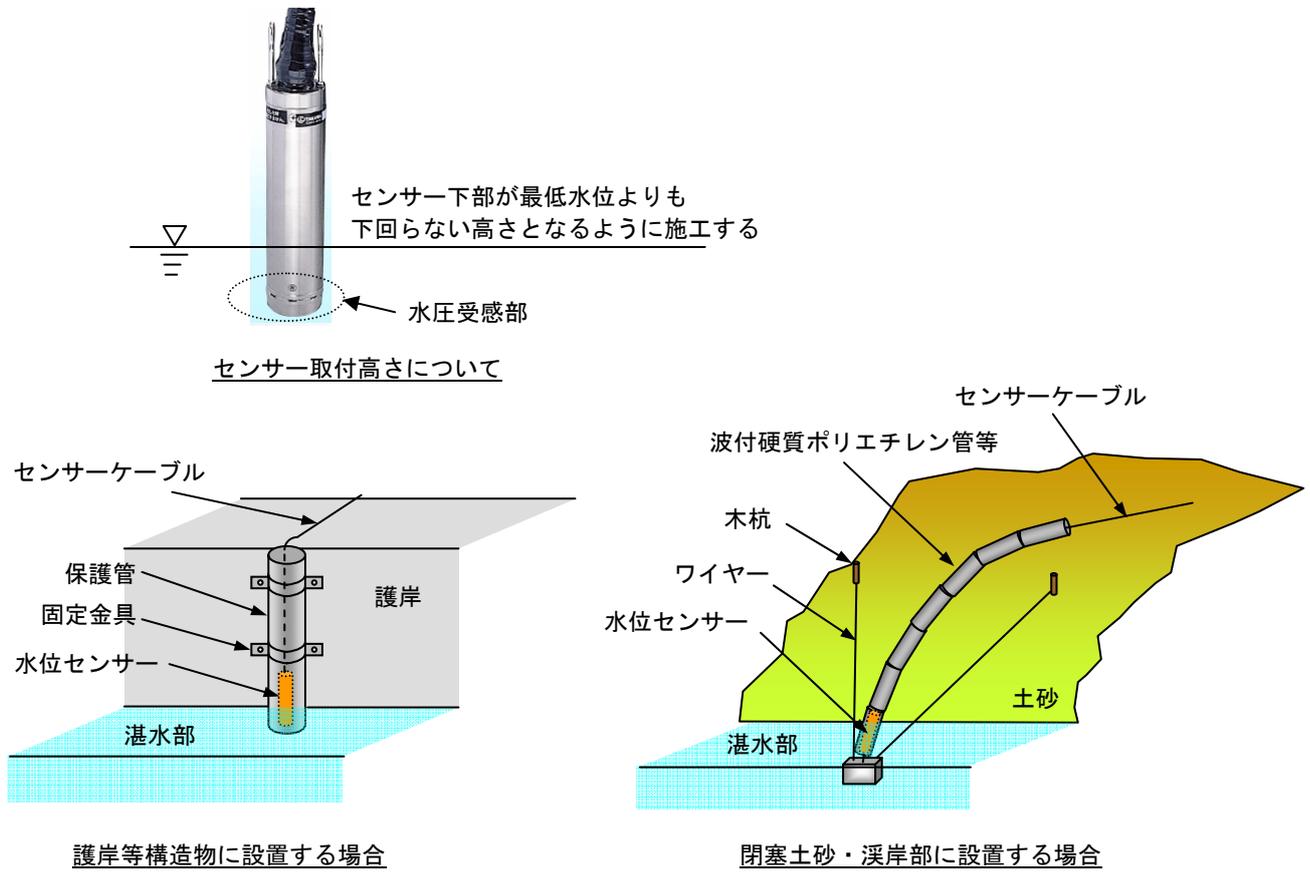


図 4.8 水圧式水位計設置概念図



図 4.9 水圧式水位計設置事例

センサーにワイヤーと重錘を付けて上部から吊るし、
ケーブルは波付硬質ポリエチレン管で保護している。
(平成 20 年岩手・宮城内陸地震で発生した磐井川・市野々原地区の天然ダムの湛水測定事例)

⑤投下型水位観測ブイによる観測

天然ダム発生後、迅速かつ安全に湛水位を自動的・連続的に観測したい場合には、土木研究所で開発された投下型水位観測ブイを設置する。

投下型水位観測ブイは、衛星通信装置を収容したブイ部と、水位センサーを収容したケージ部から構成され、ヘリコプターでの運搬性が考慮されるとともに、投下するだけでブイとケージが分離して観測体勢となり、衛星通信を通じて遠方監視が可能な機器である。

設置の際は、見込まれる湛水位上昇量が水位計の測定可能範囲内となるよう、設置時点での水深状況などを勘案して設置ポイントを決める必要がある。また、水位計ケーブルが絡まると測定に影響を来すため、樹木等が少ない地点や土砂流入が少ない地点を選択する必要がある（詳細は巻末資料8参照）。なお、設置した段階で観測される水位は、設置時の水位を基準とした観測水位との相対的な値であり、標高は不明である。このため、地上測量や航空レーザー測量等による水面や閉塞土砂の測量結果を用いるなどして、標高値への換算が必要となる。



図 4.10 投下型水位観測ブイの外観

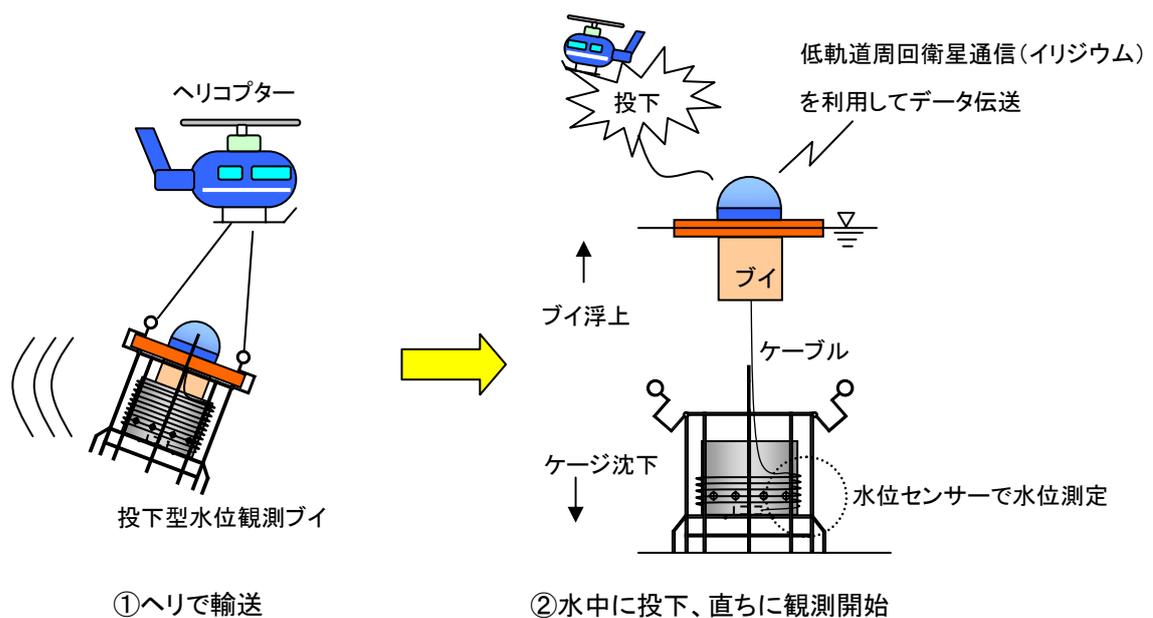


図 4.11 投下型水位観測ブイ設置概念図

【満水位と観測水位との比高の算出】

上記①～⑤の方法で観測した水位データは電子基準点等に基づいて、絶対標高に変換しておくことが望まれる。絶対標高により、天然ダム天端（満水位）の絶対標高から越流開始（満水）までの比高を把握しておくことが可能である。また、上流域の浸水範囲を把握することも重要である。

なお、水位データを絶対標高に変換することが困難な場合には、観測水位と満水位までの比高を最低限、把握しておくことが重要なため、天然ダム天端（満水位）を測量することなどが必要である。測量にあたっては、例えば航空レーザ測量の活用や、ヘリコプターからの目視による推定などが有効である。

また、実施には天端付近の巨礫、倒木等の間隙より通水し、満水位に達しなくても越流に近い状態が起こることも想定される。したがって、ここで算出した満水位と観測水位との比高は安全側に余裕を見ておく必要がある。

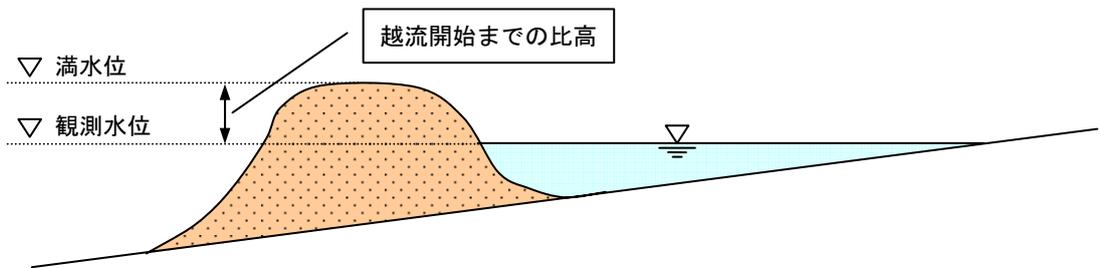


図 4.12 越流開始(満水)までの比高

【観測機器と伝送機器のインターフェース整合性】

湛水位を測定するための観測機器と、そのデータを遠方伝送するための伝送機器のインターフェースは整合が図られていなければならない。

一般的に、使用される信号はデジタル信号とアナログ信号に大別され、前者は BCD 信号（桁数、ピンアサインに数種類ある）、電圧接点信号、シリアル信号（RS-232C や RS-422 といった規格があり通信フォーマットは機器毎に異なる）などがあり、後者には電圧か電流かといった違いや出力レンジなどに種類がある。

このため、観測機器側からの出力信号と伝送機器側への入力信号は、信号種類及び規格を事前に十分確認して必要に応じて信号変換器を設けるなど、整合を図っておく必要がある。

4.3 湛水部への流入流量の把握

閉塞部の越流による決壊や上流部の浸水被害発生までの時間の予測、ポンプ排水の場合の排水量の算定および決壊時のピーク流量予測を目的に、湛水部への流入流量を把握する。

「解説」

閉塞部の越流や上流部の浸水までの時間を予測するためには、湛水部の水位上昇速度を把握する必要がある。水位上昇速度は上流からの流入流量と湛水面積によって規定されるため、流入流量の把握・監視は最も重要な事項の一つとなる。また、ポンプ排水を行う場合には、必要な排水量を算定するためにも流入流量を把握する必要がある。

巻末資料4に、水位上昇速度の計測値から越流・浸水までの時間を予測する手法を示したが、水位上昇速度ではなく、上流側からの流入流量を直接計測することによっても同様に越流・浸水までの時間を予測することができる。また、二重にチェックする意味においても、越流・浸水までの時間の予測の上で重要である。そのほかにも決壊時のピーク流量を予測する場合には、上流からの流入流量が不可欠なパラメータとなっていることから、流入流量の把握は重要である。

実際には、急峻な山間部などで天然ダムが発生した場合には、天然ダムの上流側へアクセスすること自体も困難となり、流入流量の把握が難しいことも想定される。ただし、上述のとおり重要性は高いため、流入流量の観測を実施しておくことが望まれる。

なお、観測した流入流量および湛水位（4.2）をもとに、決壊や上流部の浸水被害発生までの時間を推定する方法や、越流による天然ダム決壊時のピーク流量推定手法は巻末資料4・巻末資料5にとりまとめた。

【流入流量観測方法の選定】

天然ダム発生後、初動時の対応や決壊までの時間が極めて限られる場合には、流入流量は、湛水部の水位上昇速度と流出流量の差から逆算して求める。すわなち、流出流量が把握できているか、または無視できるほど少ない場合で、巻末資料4に示すH-V曲線が精度よく把握できている場合には、水位観測結果から流入流量を逆算する。

また、湛水部上流の流入部へ接近可能で、流量計測する時間的余裕がある場合の流入流量を把握・監視する方法としては、現地状況により次の2種類が挙げられる。観測機器が設置可能な場合は水位計・流速計による自動観測により流入流量を求める。観測機器が設置不可能な場合には、携帯型簡易流速計、浮子やビデオカメラ等を用いて定期的に流入流量の瞬時値を算出する。なお、湛水部に流入する河川が複数ある場合には、各河川において観測を行い、流入流量を把握しておくことが重要である。

また、観測した流出流量の精度を確認するために、前述のように、H-V曲線と水位観測（4.2）により間接的に求めた流入流量の推定値と比較しておくことが望ましい。

そのほか、数値計算等による流入流量を算出する場合には、雨量データを入手することが重要であり、必要に応じて雨量計を設置することが望ましい。

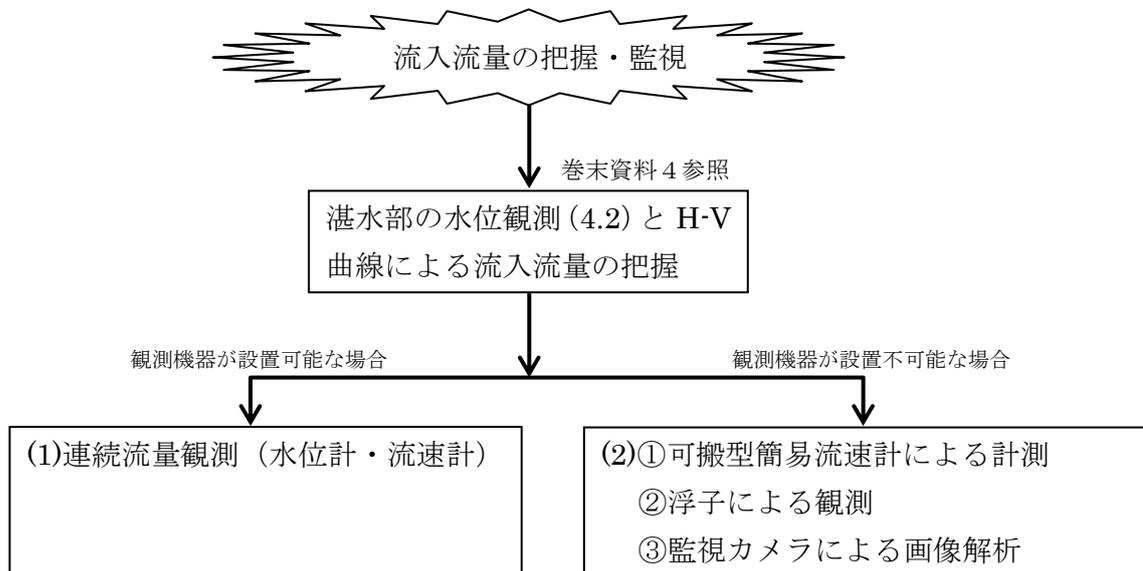


図 4.13 湛水部への流入流量観測選定フロー

(1) 連続流量観測による流入流量の把握

流入部に護岸工などの構造物があり、観測機器の設置が可能な場合、水圧式水位計や流速計を設置し、流量を求めることができる。特に橋や砂防えん堤など横断構造物がある場合は、これらに非接触タイプの水位計（超音波式・電波式・光波式）・流速計を取り付け計測することも可能である。

なお、流入部上流に既設の流量観測機器（水位計・流速計）がある場合には、そのデータも活用する。

(2) 定期的な流量観測による流入流量の把握

流入部に人工構造物等がなく、観測機器の設置が困難で、連続観測が必要な場合には、定期的な可搬型流速計（電磁式・回転式）による定期的な計測や浮子・ビデオカメラ等の目視判読と水深および流路幅を概略把握することにより、定期的に流入流量の瞬時値を算出することが可能である。

① 可搬型流速計による観測

可搬型流速計（電磁式・回転式など）を用いて、人力で湛水部流入部の流速を測定し、同時に水深と流水幅を概略把握して湛水部への流入流量を求める。水中に立ち入る必要があるため、二次災害には十分注意する必要がある。

② 浮子による観測

湛水部より上流の河道部で浮子を用いて流速を測定し、同時に水深と流水幅を概略把握して湛水部への流入流量を求める。現地に近寄れる場合にはこの手法が簡便である。流速の測定頻度は降雨・融雪状況にもよるが、平常時では概ね1日に1回程度実施する。

③ 監視カメラによる画像解析

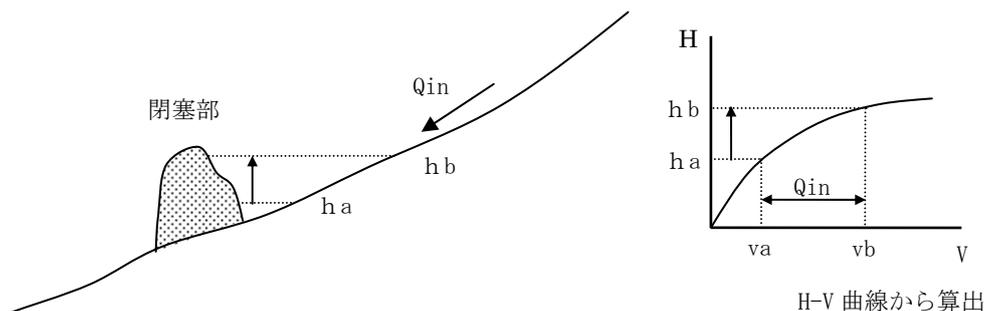
監視カメラを用いた場合、現地の推移状況がリアルタイムで把握できるとともに、録画した画像再生により繰り返し、水位、流速の判読可能な利点がある。

監視カメラは流速が精度良く判読できるよう、断面の変化が比較的少ないと思われる場所において、流下方向に対しできるだけ直角方向に設置することが望ましい。視野内の代表的な河道断面で横断測量を行い、水位と断面積の関係を求めておく。また、カメラ画像から水位と流速が読み取れるように観測地点にマーキングをしておく。流速は、浮遊する小枝・落葉などが単位時間あたりに流下する距離を読み取り推定する。

なお、状況によってはビデオカメラを用いて撮影、画像解析することも有効である。

(3) H-V曲線と水位観測による流入流量の把握

地形図と閉塞部の形状、高さから断面法などにより標高別の湛水量を算出し、H(湛水位)－V(湛水量)曲線を作成する。H-V曲線と湛水部の水位観測(4.2参照)から流入流量を算出でき、満水までの時間も推定できる。ただし、この方法では閉塞部からの流出流量や漏水量などが含まれた量であることや地形図の精度に依存するため、流入流量の値については、概略値であることを留意しておく必要がある。また、流入部に支川が複数ある場合でも、個々の河川における流入流量は求められない。なお、流出流量(4.5参照)が把握されている場合は、その流量も考慮して流入流量を算出する。



2回の水位観測時刻 $t_a \rightarrow t_b$ の間に、湛水位が $h_a \rightarrow h_b$ に上昇したとすると、流入流量 Q_{in} はH-V曲線から次のとおりである。

$$Q_{in} = (v_b - v_a) / (t_b - t_a)$$

図 4.14 H-V 曲線から流入流量の算出

(4) 雨量観測による流入流量の予測

天然ダム形成後に降雨等が予想されている場合には、決壊予測のために上流部からの流入流量予測を行う。流入流量を予測するための資料として、天然ダムが形成された流域内

の上流部、ならびに天然ダム形成部周辺の降雨量を把握する必要がある。近傍の雨量観測局のデータも利用し、流域が広い場合には、レーダー雨量計データを積極的に活用すべきである。例えば、気象庁が発表している降水短時間予測や降水ナウキャスト[※]のような降雨予測情報を利用するのも有効な方法である。また、積雪の多い山間地で積雪期に天然ダムが発生した場合には、融雪量の把握も必要である。

なお、観測した雨量等をもとに、上流域からの流入流量を時系列的に予測する手法については、巻末資料6にとりまとめて示した。

※ 降水短時間予報や降水ナウキャストは、過去の雨域の動きと現在の雨量分布を基に、目先1～6時間までの雨量分布を1km四方の細かさで予測するものである。通常1日3回発表される今日・明日の予報や天気分布予報とは異なり、短い時間間隔で発表することにより、1～6時間先までの雨量予測を可能な限り詳細かつ迅速に提供している。

4.4 閉塞部の監視

閉塞部からの越流による侵食状況又は閉塞部の変状把握を目的として、目視、地上測量、監視カメラおよびセンサー類により監視する。

「解説」

天然ダムの決壊原因としては、①越流侵食による決壊、②すべり崩壊による決壊、そして、③進行性破壊による決壊の3通りがあると言われている²⁾。しかし、これまでの災害発生事例のほとんどが越流によるものである³⁾。ただし、閉塞土砂の透水性が高い等の場合には、堤体内の浸透が進み、すべり崩壊または進行性崩壊等による決壊も考えられる。

したがって、越流侵食に伴う侵食状況や、天然ダム土塊からの浸透水の浸出状況等の変状の監視が必要となる。

2004 年中越地震後の芋川流域東竹沢地区に形成された天然ダムでは、監視カメラによる定性的な侵食状況の把握であったため、定量的な監視の必要性が課題として挙げられた。

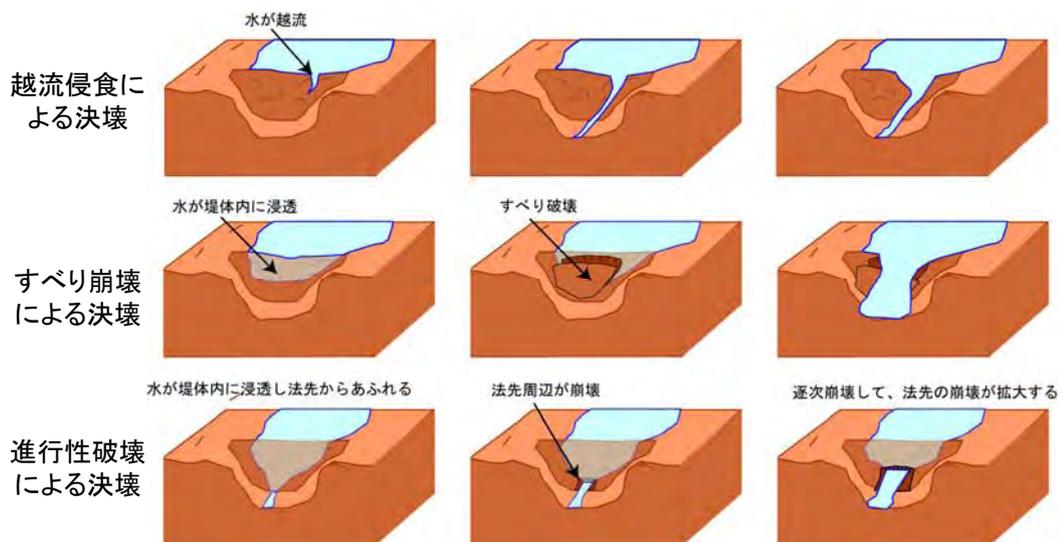


図 4.15 天然ダムの決壊原因の概念図

【下流法面状況の監視方法の選定】

天然ダム発生後、初動時の対応や決壊までの時間が極めて限られる場合には、ヘリコプターによる監視（4.1 参照）および目視監視や、手で持ち運び可能な計測機器（デジタルコンパス・距離計）による監視を行う。

決壊までの時間に余裕がある場合には、観測機器（測量機器、又はセンサー類）を用いた監視を行う。

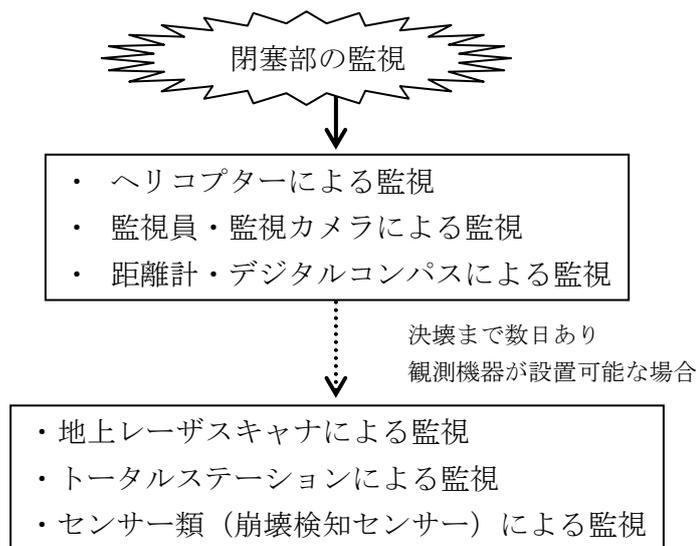


図 4.16 閉塞部の観測選定フロー

(1) 越流侵食による決壊に対する監視

侵食状況等の監視には、監視カメラによる定性的な観測、地上レーザスキャナ等の測量機器による定量的な観測があげられる。観測機器の設置が不可能な場合、あるいは緊急を要するときには簡易レーザ（デジタルコンパス・距離計）が有効である。それ以外の場合には、地上レーザスキャナもしくはトータルステーション（ノンプリズム）により観測を行う。代表的な地上測量機器の性能・規格を巻末資料1に示した。また、天然ダム堤体の侵食擬似モデルを利用した計測実験による各観測機器の性能比較表を巻末資料7にとりまとめた。この計測実験によると、自然環境の中では観測機器の性能（適応距離など）がレーザ入射角や対象物の色等に依存し、必ずしも公称値どおりとはならないことが確認され、使用する際には現場の自然条件に注意する必要がある。



東竹沢地区の堤体侵食状況
出典「平成16年(2004)新潟県中越地震による土砂災害と対応 H17.2 湯沢砂防事務所」

観測機器の設置場所は、観測対象物の不可視域がなく全体形状を俯瞰できる安全な場所を選定することが望ましい。

なお、侵食状況および侵食速度のみを把握するのであれば、トータルステーションによる計測が高精度かつ安価であるが、侵食状況の把握以外に、数値計算等を実施する場合の地形データとして活用するなど、他の解析も検討することが考えられる場合には地上レーザスキャナによる計測が望まれる。また、監視対象までの長距離（2000m以上）又は、地上

からの見通しがきかない場合は航空レーザ測量を用いることも考えられる。

これらの観測機器による堤体の侵食状況等の監視に加え、流出流量（4.5 参照）による観測結果と合わせて、越流侵食による決壊に対する観測を行う。

① 距離計又はデジタルコンパス距離計（簡易レーザ）

計測対象物に遠隔からレーザ光線を照射し、斜距離の計測が可能のため、侵食部の奥行きを経時的に計測することで侵食速度の把握が可能となる（測距距離 1,100m）。軽量で手軽に計測できる反面、手ぶれや視準性に劣るため調査精度は概略把握の位置づけとなる。

斜距離だけでなく、高度角及び水平角も計測可能なタイプもあり、ノンプリズム型トータルステーションの簡易版となりうる。このタイプの侵食部の計測方法および侵食速度・侵食量の算出方法、観測条件はノンプリズム型トータルステーションと同様である。

② 地上レーザスキャナ

地上レーザスキャナ（測距距離 2,000m）は、遠隔地からレーザビームを照射し、その反射光を測定することにより、観測対象物の地形形状を表す 3 次元データが得られる。侵食の進行が予測される面を経時的に連続観測することにより、侵食箇所、形状、侵食速度を定量的に把握することが可能である。

機器は本体、三脚からなり、人力により測定地点まで運搬することが可能であるが、他の測量機器より重量（本体 14～18kg）がある。観測開始から測定地点に据え置きで設置するのが効率的であるが、本体は防水機能を備えていないため、この場合には屋根などが必要となる。また、観測時には人による操作が必要となる。電源は 12V のバッテリーまたは発動発電機で稼働可能である。

観測条件としては昼夜間問わず観測が可能であるが、霧の場合は観測が困難となる。また、観測対象物に対しレーザビームの入射角が低かったり、対象物が暗色系である場合、反射率が低下しデータ取得が困難になるなど、注意が必要である。

③ トータルステーション（ノンプリズム型）

トータルステーションには、プリズム型（測距距離 5,500m）や反射シートを必要としないレーザ光を用いたノンプリズム型（測距距離 2,000m）がある。

土塊の侵食上端、下端、側端部を測定点として XYZ 座標を計測し、得られた数値をプロットすることで侵食形状が得られる。これらの計測を経時的に実施することで、侵食速度、侵食量を把握することが可能である。

観測条件としては、入射角が低かったり、対象物が暗色系であるなど、反射率が低下する場合には計測が困難になるなど、注意が必要である。また、夜間は観測対象物を照明機器で照射し、観測点を視認できるようにする必要がある。

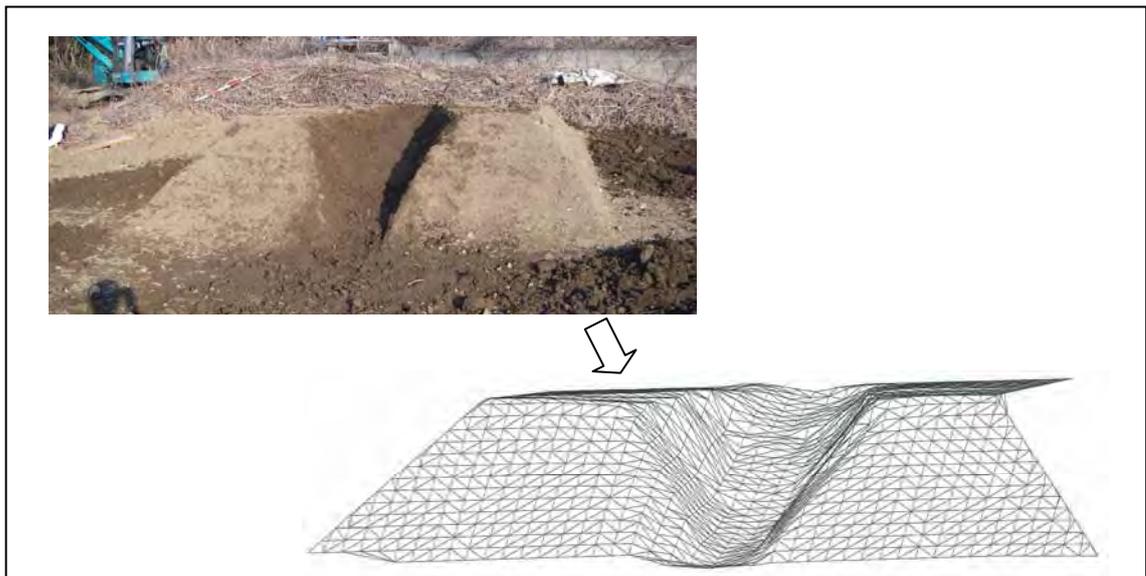


図 4.17 地上レーザスキャナを用いた3次元データ作成例

【侵食状況の把握】

縦断方向への侵食速度を把握することにより、決壊への危険性を判断することが出来る。このため、少なくとも計測ごとに縦断図を作成し、経時的な変化より堤体部の侵食状況を把握することができ、今後の予測にも活かすことができる。なお、地上レーザスキャナ等を用いて計測した場合は、可能であれば侵食土砂量も算出しておくことが望ましい。

(2) すべり崩壊あるいは進行性破壊による決壊に対する監視

監視員、監視カメラまたはヘリコプターによる定期的な監視（詳細は 4.1 参照）により、主に堤体下流法面の漏水の濁り状況や亀裂、パイピング、小崩壊といった閉塞部の変状を定性的に監視する。監視カメラは堤体全体を見渡せる安全な場所を選定し、地上レーザスキャナ等の定量的な観測と併用し、閉塞部を監視する。堤体法面に観測機器の設置が可能な場合には崩壊検知センサー（土木研究所共同研究、巻末資料9参照）により、流出流量の把握（4.5 参照）による計測結果も考慮して、下流法面の漏水の濁りや、すべり崩壊・進行性破壊を監視する。

崩壊検知センサー

崩壊検知センサーは、変位によるセンサーの傾きを検知して無線伝送するものであり、閉塞部の変状を監視することができる。すなわち進行性破壊が生じそうな場所にあらかじめ設置しておくことにより、大規模な決壊の前兆（小崩壊）あるいは決壊に至るすべり崩壊そのものを捉えることを目的とする。

特徴としては、リアルタイムで崩壊情報が得られること、設置が簡便であること、安価であることなどが挙げられる。

機器構成は、センサー、受信機、電源装置などである。センサーから送信される無線の伝搬距離は直線見通し上で約 500～1km 程度であるが、地形や樹木による遮蔽により

その距離は低減するため、実設置前に無線伝搬試験を行う必要がある。

測定は、センサーを設置する点での測定となるため、これを多点的に配置することにより、閉塞部の変位が生じた位置及び発生時刻を検出し、別途伝送装置によりリアルタイムで遠方監視することが可能となる。

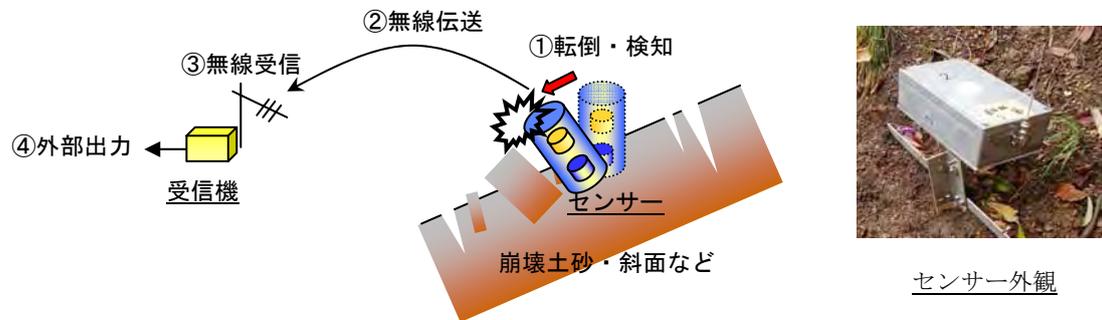


図 4.18 崩壊検知センサーの検知イメージ

4.5 閉塞部からの流出流量の把握

閉塞部の決壊の監視を目的として、閉塞部下流で水位等観測し、流出流量を把握する。

「解説」

閉塞部の破壊原因は、主として a)越流に伴う侵食による破壊、b)閉塞内部において浸透水によりパイプ状の水みちができ、これが拡大して破壊に至る場合が考えられる⁴⁾。

平成16年中越地震後に新潟県中越地方芋川流域での事例のように閉塞部の天端にホース等を設置して排水する場合、排水量が多くなると、排水路末端で侵食が発生しやすくなることもあり、応急対策後も流出流量の把握が必要となる。

従って、応急対策前は閉塞部からの流出流量（＝越流流量＋漏水流量）を、応急対策が施された場合は排水流量も含めた流出流量を、閉塞部下流で注意深く監視し、流入流量に比べて流出流量が急激に増大するなど、通常認められない現象が起きた場合には、閉塞部の侵食による破壊等を警戒しなければならない。なお、下流への流出流量は湛水位の上昇の結果、堤体内の動水勾配が増すため、パイピングによる破壊が起きなくても流出流量が増加していく可能性もある。また、湛水部の水位上昇速度を把握する場合にも流出流量は重要な事項となる。

【流出流量観測方法の選定】

流出流量観測方法の選定については、「流入流量観測方法の選定」と同様とする（4.3 参照）。

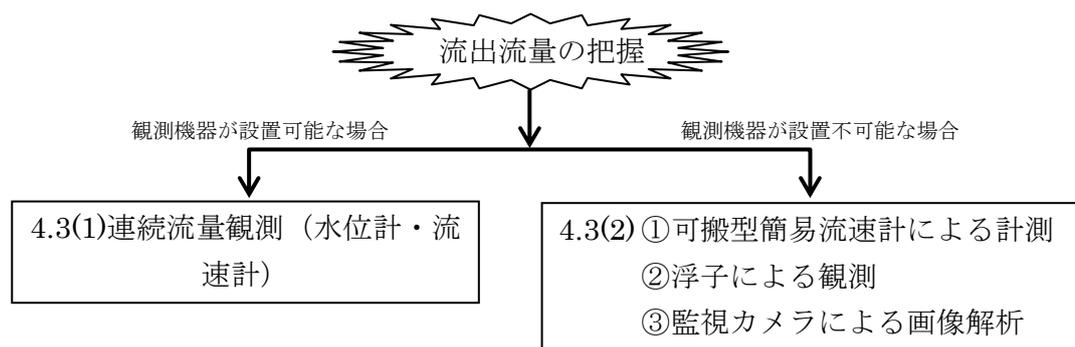


図 4.19 湛水部の流出流量観測選定フロー

4.6 崩壊部および周辺部の状況の監視

崩壊部および周辺部の拡大崩壊、新規崩壊などを監視することを目的として、崩壊の前兆現象および崩壊しそうな斜面の変位を地表伸縮計、地上測量等により把握する。

「解説」

天然ダム形成直後には、救助活動、応急対策工事などが実施される。これらは崩壊地の直下や直近で実施されるため、作業の安全性を確保することが必要となる。斜面の拡大崩壊に対する安全確保を目的とし、崩壊の前兆現象および崩壊斜面の変位状況を把握する。斜面変位は地表伸縮計や地上測量で、地表面の移動量を直接観測し、移動速度から危険度評価を行う。二次災害防止のため、安全確保に細心の注意を払う。崩壊部の観測データ管理基準値を巻末資料10に示す。

また、大規模な崩壊が発生した場合には崩土が湛水部に流入し、段波による越流により、決壊する恐れがある。崩壊した斜面以外でも、余震、降雨や湛水の進行に伴って新規の崩壊が発生する可能性もあるため、周辺部を含めた崩壊の危険性に対する監視も必要である。

(1) 崩壊の前兆現象の把握

斜面崩壊発生の前兆現象として主に次の現象があげられる。前兆現象が確認された場合は、崩壊発生の危険性が高いものと判断する。

- 頭部の亀裂・段差発生の有無・拡大
- 落石や小崩壊の有無
- 樹木の根が切れる音の有無
- 斜面からの湧水量の変化

(2) 斜面変位の観測

亀裂等が確認された場合には、斜面の変位およびその移動速度をモニタリングすることが必要であり、現場の状況に合わせて次の観測機器を用いることとする。

- 地表伸縮計
- 抜き板
- 移動杭
- GPS 測量
- 地上測量

なお、上記の計器設置のために崩壊部に立ち入る必要が生じることから、設置作業においては注意を要する。

① 地表伸縮計

地表伸縮計は地表面の移動部と不動部の2点間(崩壊の亀裂を挟んで)にインバー線を

張り、この伸縮状況を観測し地表面上の2点間の相対変位を測定するものである。伸縮計本体を亀裂より上部の不動点位置に設置し、亀裂下部の移動部に杭などを設置し、その間をインバー線で結ぶ。インバー線は落葉・落枝や野生動物が触れないよう、塩ビパイプなどで保護する必要がある。

使用上の留意点として、崩壊地が広大な場合には不動点が得にくいこと、地表が著しく攪乱している場合にはインバー線を直線的に張れないことなどが挙げられる。また、地震により発生した天然ダムの場合には、余震時に変位が認められなくても震動により伸縮計の警戒レベルを超えアラームがなる恐れがある。

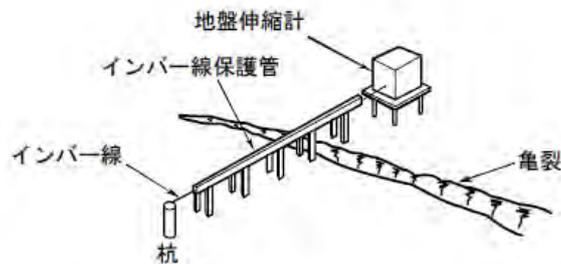


図 4.20 伸縮計の外観と測定概要図

② 抜き板

抜き板は、地表面伸縮計と同様、2点間の相対変位を測定するものであるが、自動観測ができないため、定期的に手動で計測する必要がある。木材を組み合わせる現地製作するものと、固定具やゲージがついたアルミ製の専用品などがある。

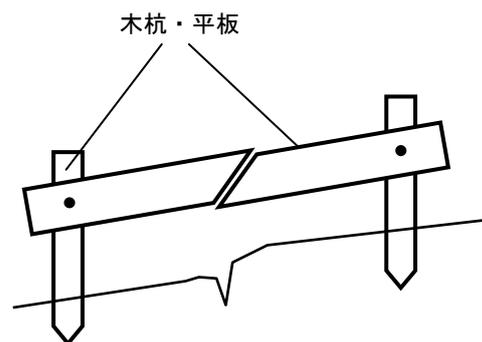


図 4.21 抜き板の外観と測定概要図

③ 移動杭

複数の移動杭を設置することにより見通し線上の移動速度を計測可能である。想定される拡大崩壊あるいは新規崩壊の頭部が明瞭でない場合などに有効である。

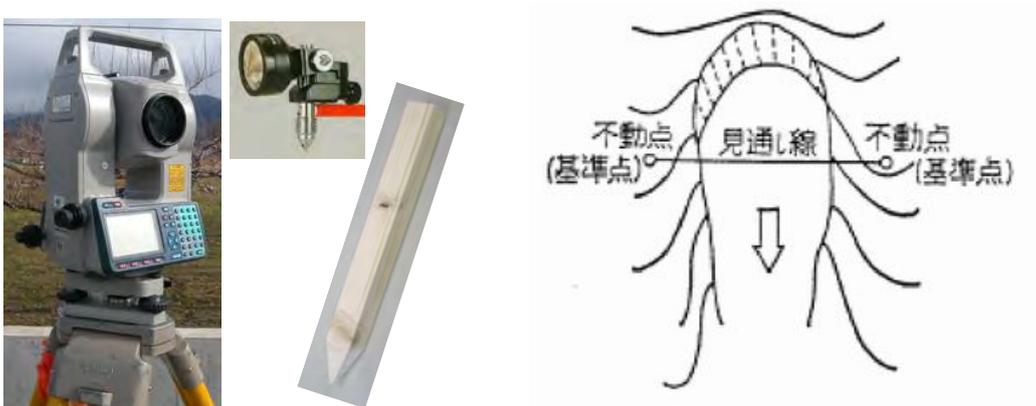


図 4.22 移動杭の外観と測定概要図

④ GPS 測量

基準点、測点の 2 ヶ所に GPS 観測機を設置し、GPS 衛星から発信される電波を受信して 2 点間の距離を測定する。

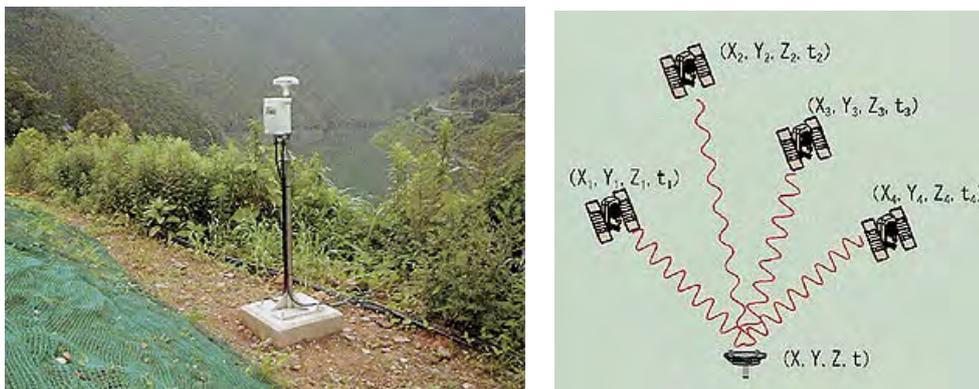


図 4.23 GPS センサーの外観と測定概念図

⑤ 地上測量（固定点測量）

移動部内に測定点を設置し、この点の座標を不動部に設定した基準点をもとに一定期間毎に測量し、移動量を算出する。

測定点（杭）にプリズムや反射シートを装着し、トータルステーションによって測量する。

なお、崩壊地が立ち入り困難な危険斜面である場合、あるいは余震等により拡大崩壊などが懸念される場合には、例えば RE・MO・TE2（土木研究所共同研究）を利用することも望まれる（巻末資料 11 参照）。

4.7 閉塞部決壊による土石流等発生監視

閉塞部決壊による土石流等発生に対し、下流部に土石流発生検知装置を設置し、土石流の発生を検知する。

「解説」

閉塞部が決壊すると土石流などが発生する。閉塞部下流の河床勾配や堤体のダム高、湛水量や構成材料などにより、流下形態は土石流、土砂流あるいは鉄砲水などさまざまである。これらは段波として下流へ流下し、降雨時のみだけでなく無降雨時でも下流域において急激に水位上昇する可能性があるため注意を要する。

閉塞部決壊による土石流等の発生は、閉塞部の監視（4.4 参照）により直接、発生監視を行うことを基本とするが、夜間や観測機器の整備が間に合わないような場合には、閉塞部より下流部の適地において間接的に監視を行う。万が一、閉塞部が決壊して土石流等が発生した場合に備え、土石流等の発生を検知するための土石流発生検知センサーを設置し土石流等の発生を監視する。土石流等の発生検知基準を決定する場合には、監視結果等から推定される決壊により発生する土石流等のピーク流量を考慮するものとし、下流の氾濫被害に備えた警戒避難用（住民用）と下流河道内の緊急工事等に対する安全管理用（工事関係者用）の2つの検知基準を想定しておくが望まれる。また、土石流等が発生し、これを検知した場合の情報伝達方法については、用途に応じて方法を検討する。可能であれば、複数の検知手法、通信手段を確保することが望ましい。

これらの各観測機器の設置箇所、設置目的などを観測施設台帳として整理しておくことにより、各関係機関で情報共有しておく必要がある（巻末資料12参照）。

（1）水位計（超音波式水位計等）による検知

天然ダムの下流側に水位計を設置することが可能であれば、水位計によって土石流等の発生を検知することができる。測定方式は、土石流に対して非接触で測定できる超音波式水位計、電波式水位計等が適している。

設置の際の留意事項としては、センサー設置高を想定される土石流の水位以上にすることや、濡筋の変化の影響を受けにくい位置を選択する必要がある。

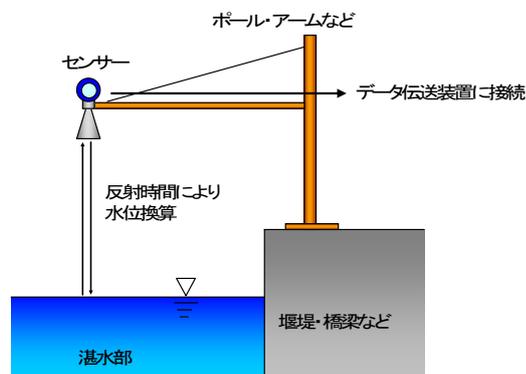


図 4.24 超音波水位計の測定概要

(2) 振動検知式土石流センサー（振動センサー）による検知

振動センサーは土石流による地盤振動の加速度又は速度を計測し、設定値を超えた場合に土石流として検知するセンサーであり、繰り返し使用ができること、振動強度により土石流規模の推定ができるなどの特徴を持つ。

設置場所は、土石流による振動が確実に伝わり、かつ土石流以外の要因による振動ノイズ（工事車両の通行など）の影響が少ない地点を選定する必要があるため、設置前に起振試験とノイズ測定が必要となる。一般的には溪流から近い位置となるため、設置の際は二次災害に十分注意する必要がある。

得られた振動データから土石流を検出するため、地盤振動の強度⁵⁾、波形、継続時間、エンベロープ比^{例えば6)、7)}などに基づいて検知基準が定められる。波形データは一般に大容量データとなることから、災害直後には、リアルタイムで波形データそのものを送信できるだけの通信ネットワークを構築することが困難な場合がある。その場合には、現地で上記のような基準に基づいて土石流の発生を判別し、その結果を送信する。大容量データ送信が可能であれば、現地対策本部等でそのデータを処理して検知することが望ましい。そうすることにより、何らかの理由で誤って検知信号が発せられた場合に、すぐに技術者が波形をチェックして確認を取ることができるからである。

なお、発生する土石流が石礫を多く含まないタイプの場合は十分な振動強度を得られず、土石流として検知することができない場合があるので留意する必要がある。

振動センサーの設置等に関する詳細については、「振動検知式土石流センサー設置マニュアル（案）平成17年7月」⁵⁾を参照されたい。

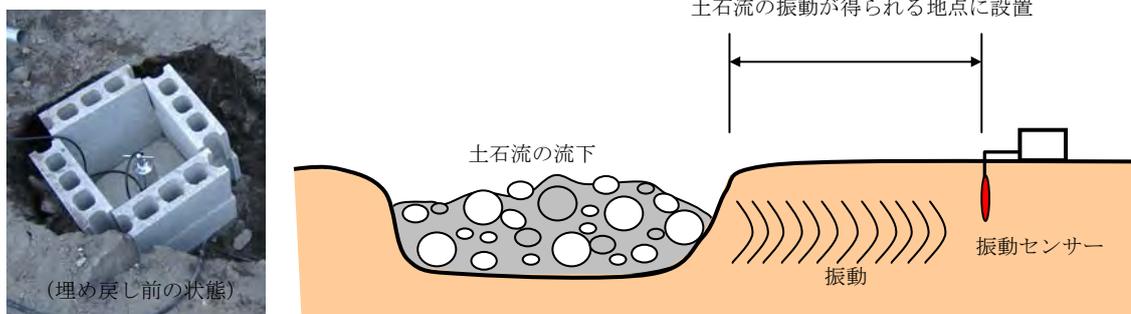


図 4.25 振動センサーの外観と設置例

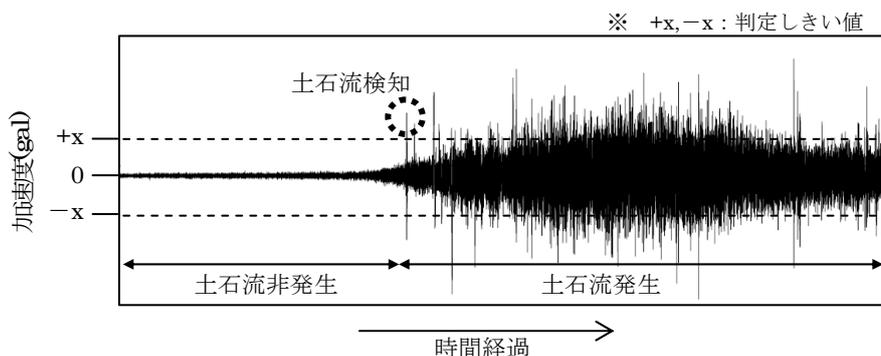


図 4.26 振動センサーによる土石流検知の概要

(3) 監視員または監視カメラによる監視

土石流等の発生を監視するために、監視員の配置または監視カメラの設置を行う。なお、天然ダム全体状況の把握用として設置した監視カメラも、土石流の発生を映像として監視可能なため、(1)、(2)あるいは(4)の観測機器の補助的観測方法として、当該カメラを土石流発生の監視用として活用する。また、近年画像解析による技術が向上し土石流発生を画像解析により検知する技術もあり、監視カメラの映像も有効に活用する。

(4) 接触型センサー（ワイヤーセンサー等）による検知

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。

溪流下流の橋脚、砂防えん堤などの安定した箇所を利用して、平常時の水深と決壊後に想定される土石流のピーク流量から推定される水深を考慮してその設置高さを決定し、溪流の横断方向にワイヤーを張る。また、橋脚等構造物が無い場合は、立ち木を利用する、杭を立て仮設置する等の方法もある（ワイヤーが切れる強度まで耐えうるものを考慮する）。設置には溪流内へ立ち入る必要が生じるため、工事安全管理には十分な注意が必要である。

また、ワイヤーセンサーの配置位置は、下流の工事関係者や住民が土石流等発生検知から土石流到達までの間に安全な場所への避難行動時間が確保できるよう、可能な限り上流に配置する。土石流等の発生を工事関係者や住民に直接伝達する場合は、警報機を工事箇所や集落の近傍に設置する。なお、ワイヤーを上下2本以上張り、工事安全用の厳しい基準（設置高：低）と警戒避難用の緩い基準（設置高：高）とに分けて対応することも有効である。

センサーの検知の確実性を増すには、ワイヤーを上下流2本以上張り、複数のワイヤーが切れた場合に土石流等の発生とする、という方法もある。

また、豪雪地域においては、ワイヤーが雪などにより切断される可能性があるため、雪が被らない橋梁の下等に設置する等の対策が必要となる。

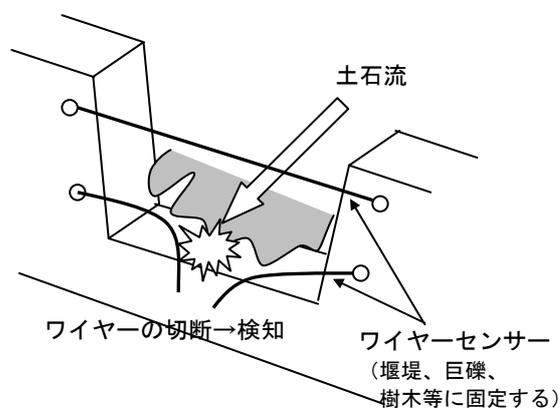


図 4.27 ワイヤーセンサー設置概要

(5) 雨量観測による土石流発生予測

天然ダム、斜面崩壊などが発生している場合、その後の大雨が誘因となって土石流が発生することが想定される。このため、監視区域上流部の雨量観測が必要となるが、既往の雨量観測所は観測密度が大きくないこと、地震時には破損して観測できなくなる可能性があることなどの理由により、新たに雨量計を設置する必要が生じる。

天然ダムに用いる雨量計システムとしては、特に受感部タイプ、運搬性、情報伝送、電源などの要件が重要となってくる。

受感部タイプとしては、上部が開口した一般的な転倒ます型雨量計の他に、側面が開口して強風下での雨滴捕捉率を向上させた高標高雨量計などがあるので現場状況に応じて選択する。

運搬性は、ヘリコプターで直接設置場所に運搬できる場合には、アングル枠などに必要器材を組み込んでおき吊り下げて設置し、現地作業は微調整のみで短時間で済ませることが望ましい。また人力で運搬する場合には、必要器材を分割して重量を分散させる必要がある。

情報伝送の手段は、可搬性や低消費電流の観点から、衛星携帯通信が望ましい場合が多い。衛星携帯通信には低軌道周回衛星、静止衛星を利用した2タイプがあるが、前者の方が消費電流、通信性などで有利な場合が多い。

電源は、商用電源が得られないことを前提としてバッテリーによるものとし、想定される監視対象期間が長い場合には太陽電池を組み合わせるものとする。

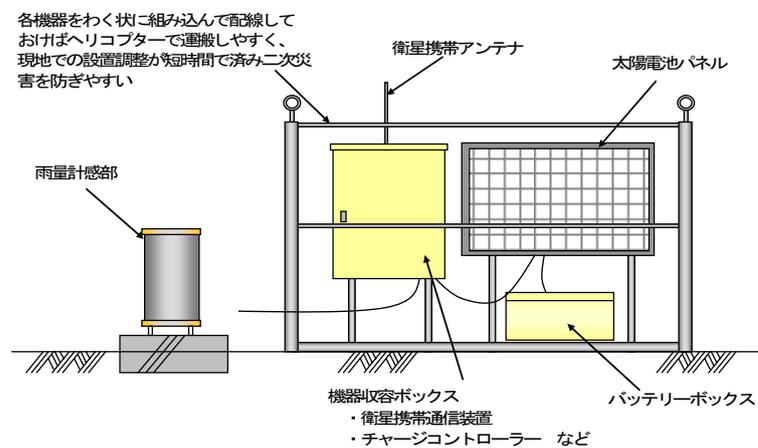


図 4.28 雨量観測システムの概要図

5. 監視情報伝送システムの選定

観測情報を遠方で監視するための伝送システムを構築し、情報の伝達を行う。天然ダム形成初期には、現場へのアクセス条件、情報容量、通信回線および電源事情を勘案しシステムの選定を行う。

「解説」

4章で示した観測機器等の情報を伝達するための伝送システムを構築し、災害対策本部、事務所等で監視を行えるようにする。

監視員による監視結果の報告は、使用可能ならば携帯電話や、K-COSMOSによって行うが、これらが使用不可能な場合には、衛星携帯電話、無線の活用を検討する（巻末資料13参照）。

また、監視機器からのデータ、情報を伝達する場合には、以下のとおりとする。

通常、連続観測を行っている機器からの情報伝送には、光ケーブル等を用いた有線での情報伝送および雨量計等の情報を伝送するテレメータ無線通信方式が使われている。もし、既設の監視機器および情報伝送手段が使用可能であれば、それを活用する。

しかし、天然ダム箇所は常時の観測を行っている場所で起きるとは限らない、光ケーブル等が断線している、施設が故障している等が考えられるので、上記の伝送システムをそのまま流用出来る可能性は少なく、新たに伝送システムを構築する必要がある。

通常、天然ダム形成初期に構築可能なシステムは、現場へのアクセス条件、情報容量、通信回線および電源容量により構築可能なシステム性能が制限されるが、迅速性を優先する必要がある。

【観測情報伝送システムの選定】

天然ダム形成時の観測情報伝送システムの構築に際しては、主に天然ダム形成初期のシステム構築と、それ以降の事態の推移に対応したシステム更新の2種類に分類される。

天然ダム形成初期に構築可能なシステム

天然ダム形成初期に構築可能なシステムでは、安定した回線・電源の確保や伝送容量の大きさの問題よりも、一刻も早くシステムを構築し、まず監視を開始することが最優先となる。したがって、必要最小限の情報が伝送可能で、早急に用意可能な通信機器で通信が行えるシステムを暫定的に構築することとなる。

その後事態が推移し長期化した場合には、電話回線の復旧、商用電源の敷設、光ケーブル等の敷設により初期で運用している通信システムを、より安定し大容量を伝送出来るシステムに更新していくこととなる（第6章参照）。

天然ダム形成時の観測情報伝送システムには、緊急に回線の確保が可能で災害や輻輳に強い、国土交通省が保有する衛星小型画像伝送装置（Ku-SAT）及び災害テレメータが最も有効な情報伝達方法であり、これらを積極的に活用すべきである。

(1) 衛星小型画像伝送装置 (Ku-SAT)

1) システム概要

国土交通省が保有する衛星小型画像伝送装置 (Ku-SAT) は、可搬局と呼ばれる持ち運び可能な衛星通信装置を災害現場に搬入し、現地での監視情報を人工衛星を介して別の可搬局又は固定局 (災害対策本部・事務所等) に伝送するシステムである。

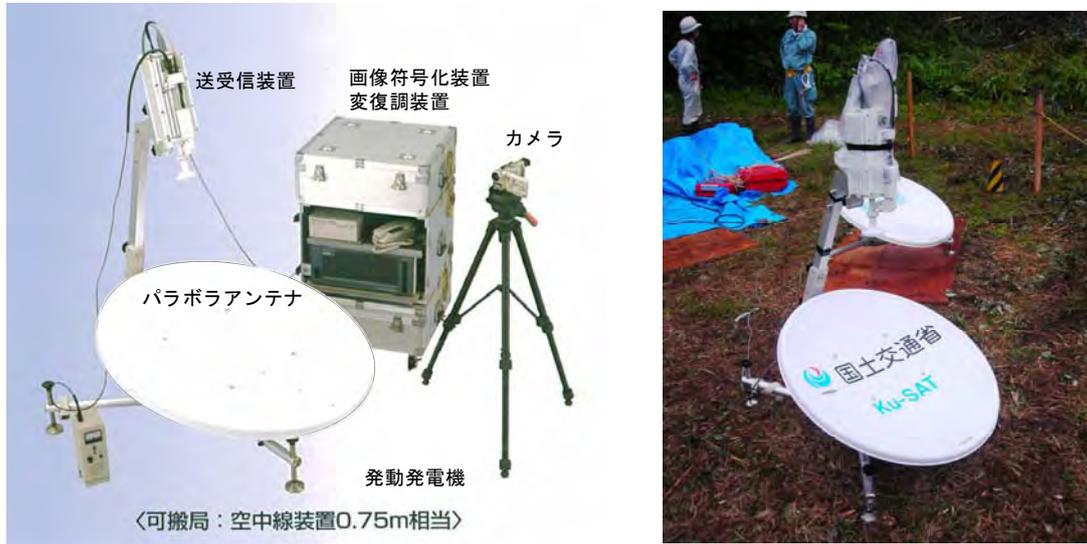


図 5.1 Ku-SAT 可搬局外観と現地設置状態

2) 特徴

①利点

- ・地上災害の影響を受けることなく通信が可能である。
- ・可搬型なので災害現場に持ち込むことができる。
- ・現地情報を多地点で同時に受信可能なため、同報性に優れ情報共有化が図りやすい。
- ・画像伝送装置による準動画伝送が可能であり、対策本部等での状況把握に有用である。
- ・音声通話・データ通信が可能であるため、情報連絡回線として有用である。
- ・画像回線、音声回線数を増やすことが可能。
- ・場内 PHS 電話網の構築が可能であるため、対策本部等と、Ku-SAT から離れている現地作業者との連絡が可能となる。
- ・衛星レシーバーの利用により、アンテナ向き調整が容易に行える。
- ・これまで多くの災害時に使用されており、有用性が実証されている。

②使用にあたっての留意事項

- ・使用場所は、南方向の仰角約 45° (緯度経度により異なる) が開放していること。
- ・発動発電機の燃料補給が高頻度で必要 (但し最近では 3 日間連続使用可能なタイプあり)。
- ・豪雨時に通信が不安定になる可能性がある。このため、ワイヤーセンサーなど検知を短時間で伝達する必要がある情報の場合には、支障が出る可能性がある。
- ・現有台数は 1 事務所あたり 1~2 台のため、災害が多地点で発生した場合には台数が不足する場合がある。(この場合局・事務所間で調整して台数を確保する必要がある)
- ・重量は全体で約 100kg 程度あるため、分割できるとはいえ人力のみではあまり遠くまで搬入出来ない。
- ・冬季、積雪地帯で使用する場合には、積雪の影響により使用不能になってしまう恐れがある。
なお、対策として小屋を設置し、Ku-SAT を屋内に入れるなどの方法がある (図 5.2 参照)。

冬期・積雪期間の情報通信手段について、衛星通信(Ku-SAT)しか方法がない場合の現地設置について、温湯地区についてユニットハウス内への設置を行った。

設置に当たっては、窓を通した送受信を行おうとしたが、ガラス窓の影響により、良好な送受信環境が整わなかったことから、窓をはずし、アクリル板を設置することにより、送受信を可能とした。



窓があると良好な通信が出来ない

窓をはずし、アクリル板を設置し、通信を可能とした。

アクリル板とKu-satの位置関係。



図 5.2 冬季・積雪期間における Ku-SAT 設置事例(迫川水系温湯地区)

3) 利用イメージ

- ・携帯電話、衛星携帯電話等では送れない現場状況の動画像の伝送および音声通話・データ伝送システムとして利用

表 5.1 衛星小型画像伝送装置(Ku-SAT)システム監視機器対応表

監視内容	全体状況	水位				降雨量	流速		侵食量			移動量		崩壊検知	土石流発生検知
監視機器	監視カメラ(市販のビデオカメラ等)	水位標の目視	測量機器による計測	投下型水位観測パイ	水圧式水位計	転倒ます型雨量計	浮子	流速計(回転・電磁・超音波)	距離計(簡易レーザ)	地上測量機器		地上測量	伸縮計	崩壊検知センサー	ワイヤーセンサー等
画像伝送装置	○	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
データ伝送(ロガー・PCに接続)	---	○ 要入力作業	○ 要入力作業	△ 別途中継装置が必要	○	○	○ 要入力作業	△ タワにより要入力	○ 要入力作業	○	○ 通信時間長い	○ 要入力作業	○	△ 送受信タイムラグあり	△ 送受信タイムラグあり

※音声通話にて各監視機器の情報を口頭で伝達する方法もある。

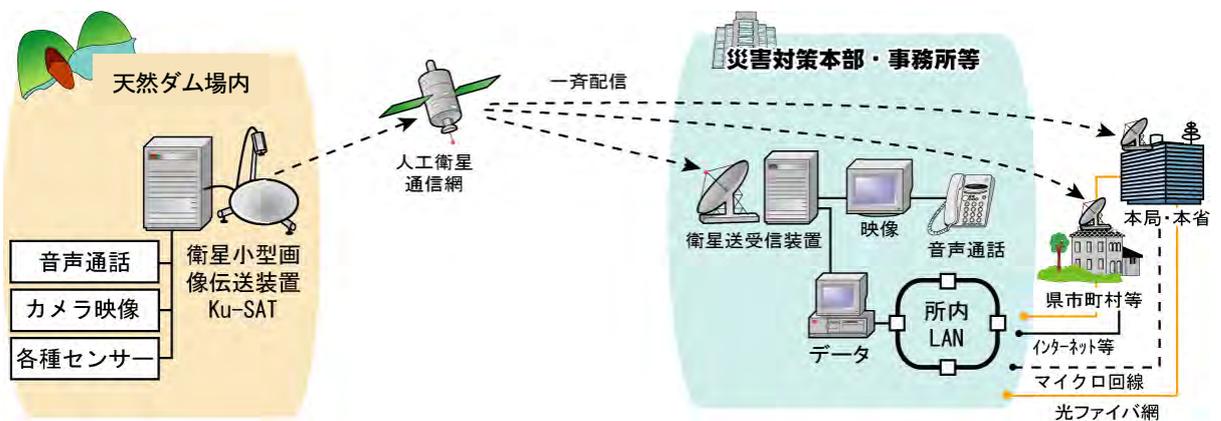


図 5.3 衛星小型画像伝送装置(Ku-SAT)システム構成例

(2) 災害対策テレメータ

1) システム概要

災害対策テレメータは、一般に雨量観測等で使われているテレメータ無線装置を可搬型にしたもので、災害時には車両等で搬入する。

災害テレメータの特徴としては、電波使用免許は国土交通省として許認可済みなので（50MHz帯3周波数の1つを利用）申請は不要で、すぐに利用可能である。

伝送可能なデータ数は、水位×1量、雨量×1量、接点（ワイヤーセンサー、振動センサー、伸縮計等）×1量である。

なお、設置前に机上検討及び回線設計を行い、無線回線を行えるかどうかを確認しておく必要がある（伝搬距離及びその間の地形状況により無線の伝搬性能が関わってくるため）。



外観写真

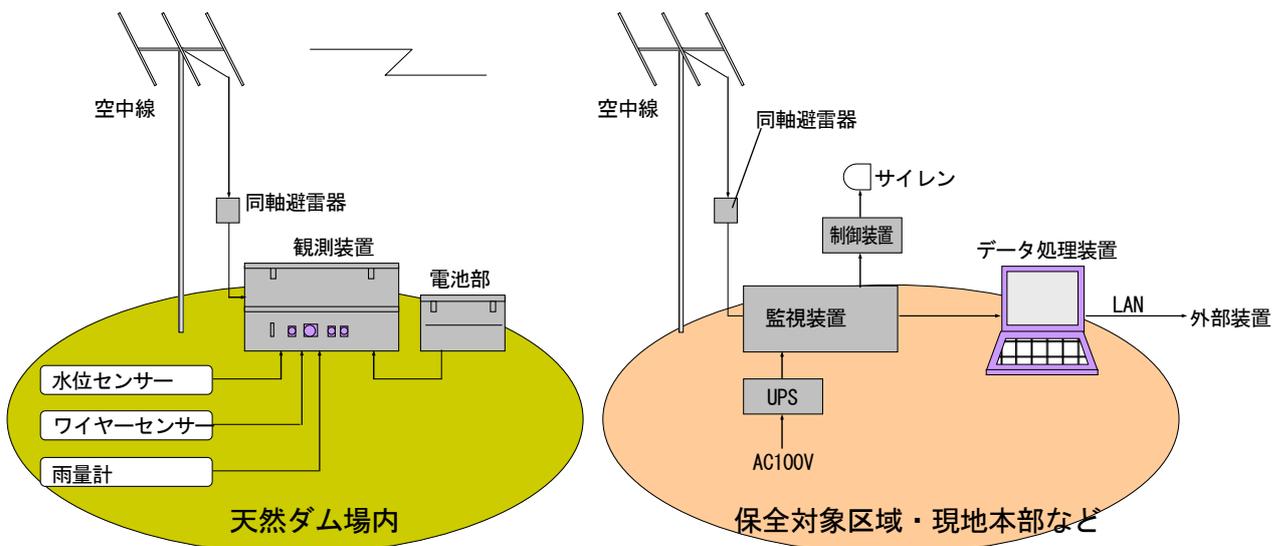


図 5.4 災害対策テレメータ観測装置

2) 特徴

①利点

- ・無線免許は申請済みであるためすぐに利用可能である。
- ・災害時使用における輻輳の心配がない。
- ・伝搬時間遅れが少ないため、ワイヤーセンサーなど緊急性の高い情報に向いている。
- ・防雨ケース等に収容されており、屋外利用が考慮されている。
- ・運搬性が考慮された大きさとなっている。

②使用にあたっての留意事項

- ・設置前に、無線回線の机上検討と現地伝播試験が必要である。
- ・情報伝送量が少ない。（水位センサー×1量、センサー接点×1量、雨量×1量）
- ・全国での普及台数が極めて少ない。

3) 利用イメージ

- ・ 臨時のセンサーデータ通信システムとして利用

表 5.2 災害対策テレメータ監視機器対応表

監視内容	全体状況	水位			降雨量	流速		侵食量			移動量		崩壊検知	土石流発生検知	
監視機器	監視カメラ (市販のビデオカメラ等)	水位標の目視	測量機器による計測	投下型水位観測パイ	水圧式水位計	転倒ます型雨量計	浮子	流速計 (回転・電磁・超音波)	距離計(簡易レーザ)	地上測量機器 トータルステーション(ノックリスム) 3Dレーザスキャナー		地上測量	伸縮計	崩壊検知センサー	ワイヤーセンサー等
データ伝送 (ロガー・PCに接続)	×	×	×	△ 別途中継装置が必要	○	○	×	△ タグにより要入力	×	×	×	×	○	○	○

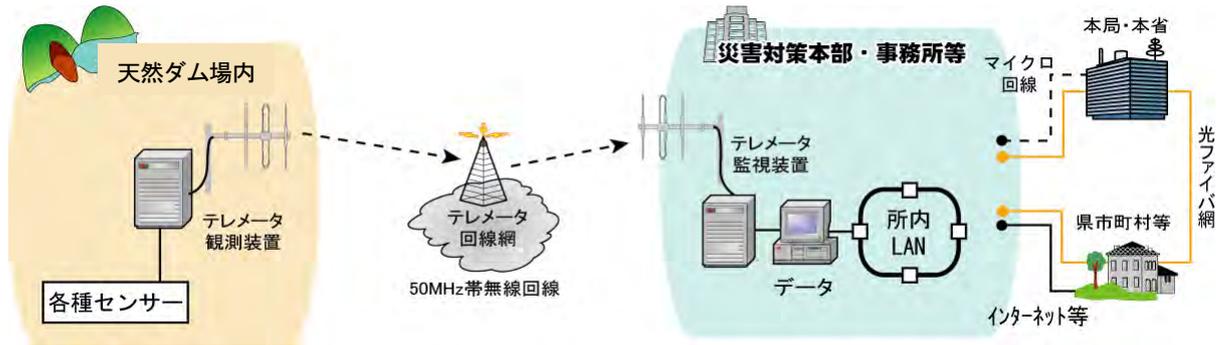


図 5.5 災害対策テレメータ利用イメージ

6. 事態の推移に応じた観測機器・情報伝送システムの更新

天然ダム の 状況 や 事態 の 推移 に 応 じ、 観 測 機 器 や 情 報 伝 送 シ ス テ ム 等 を 更 新 す る。

「解説」

初期に構築した観測機器や情報伝送システムは、早急な監視開始を優先としているので、観測・伝送項目の不足などの問題がある。したがって、天然ダム の 状況 や 事態 の 推移 に 応 じ て、シ ス テ ム 全 体 の 更 新 を 行 い、 安 定 性、 多 情 報 量 性、 高 精 度 性 な ど を 確 保 で き る 状 態 に す る 必 要 が あ る。

主な初期システムの問題点と更新例を以下に示す。

①利用可能な伝送装置が限られるので、情報量が少ない、通信が安定していない。

→ 天然ダム現場まで光ケーブルを敷設する等の大容量の情報伝達システムを構築する。

②電源供給が太陽電池やバッテリーに依っているシステムでは、観測機器は低消費電力タイプに限られるため、機能や仕様が制限される。また、発動発電機に依っているシステムでは、高頻度の燃料運搬・補給が必要である。

→ 天然ダム現場まで商用電源を敷設する。

③観測～情報伝送の過程において、人手を要する半自動システムとなっている場合が多く、高密度な人員体制を継続的に維持する必要がある

→ システムを自動化し、無人連続観測を行う。

④観測機器から情報伝送機器又は保全対象の警報装置までの間が、ケーブルで長距離敷設されているため、土石流や斜面崩壊、対策工事用車両などにより切断されたり、雷サージの影響を受ける恐れがある。

→ 監視機器から情報伝達装置間を無線化する（巻末資料14参照）。

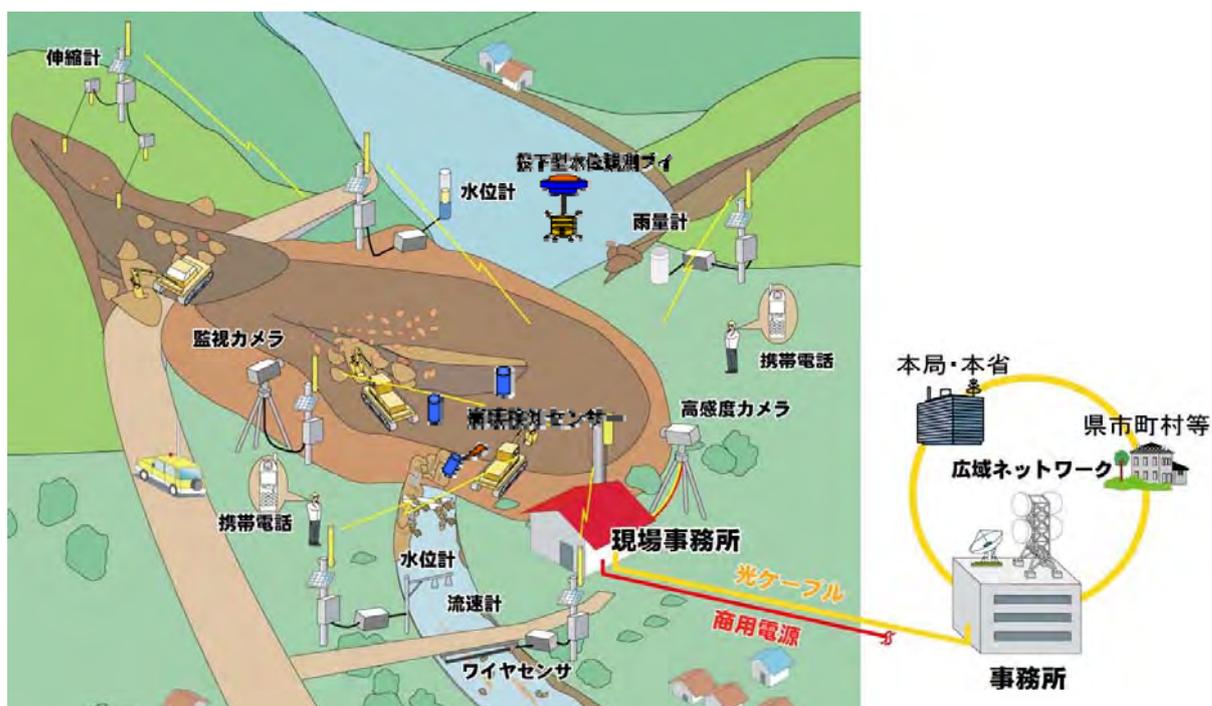


図 6.1 システム更新後の天然ダム監視・観測イメージ

<参考文献>

- 1) 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（平成4年3月）
- 2) 高橋保・匡尚富：天然ダムの決壊による土石流の規模に関する研究，京都大学防災研究所年報，31号，B-2，pp.601-615，1988.
- 3) Schuster R. L. and Costa J. E. , "A Perspective on Landslide Dams", in Landslide Dams by the American Society of Civil Engineers, pp.1-20., 1986
- 4) 水山高久・石川芳治・福本晃久：天然ダムの破壊と対策，土木技術資料，31-11，pp.50-56，1989
- 5) 振動検知式土石流センサー設置マニュアル（案）平成17年7月，土木研究所資料
- 6) 武澤永純・柳町年輝・山越隆雄・栗原淳一：波形形状に着目した振動センサーの土石流検知基準の提案，砂防学会研究発表会概要集，pp.202-203，2007
- 7) 大角恒雄・浅原裕・下川悦郎：野尻川における振動センサーを用いた土石流検知自動判定システムに関する一考察，砂防学会誌，Vol.61，No.1，pp.3-10，2008

<観測機器、伝送機器に関する用語解説>

水位標

水位を目視するために使用する、目盛りが付された板。河川・ダムでは1cm毎に視認性に優れた目盛りが刻まれた専用品が用いられる。緊急時には測量用のスタッフでも代用できる。

水圧式水位計/水晶式水位計

水圧変化を電気信号に変換して水位を測定する水位計であり、小型で設置が容易である特徴をもつ。また、水圧の受感部に水晶振動子を用いたものをとくに水晶式水位計といい、高精度、高測定範囲であるため、天然ダム湛水部の水位測定に多く用いられる。

投下型水位観測ブイ

ヘリコプターから投下するだけで設置でき、直ちに運用可能な水位計。ブイ部（衛星通信装置内蔵）と、ケージ（重錘、水位センサー内蔵）により構成され、迅速性、二次災害に対する安全性に優れる。土木研究所により開発された。

超音波式・電波式・光波式水位計

超音波（又は電波、光波）を送受信するセンサーから、パルスを水面に向かって発射して反射するまでの伝搬時間から水面距離を検出する水位計。水面に非接触で測定可能であるため、流下物による破損の危険がない。土石流などが流下する溪流などに適している。

浮子（ふし）

河川の流速を求めるために使用する、水上長と吃水長を保つ竿状の浮き。橋梁等から投下し、所定の距離を流下する時間から流速を求める。流水に直接立ち入らずに観測ができるが、可搬型流速計を用いる場合に比べて精度は落ちる。なお夜間の測定時は、浮子の先端にケミカルライトを取り付けて視認性を向上させる。また、浮子の材質は、一般的には紙管原紙が用いられるが、ゴミとして残存することを防止するために水溶紙を用いた高分解型もある。

可搬型流速計

手動で流速を計測できるものであり、プロペラの流水による回転数を計数して流速を知る回転式流速計や、流水が磁界を横切る時に生じる起電力を検出して流速に換算する電磁式流速計などがある。測定の際は流水に立ち入る必要があるため、二次災害には注意しなければならない。

電波式流速計・超音波流速計

水上から流水面に向かってビームを送受信し、その時に生じる周波数の位相差（ドップラー効果）により表面流速を測定する固定式の流速測定機器。水面に非接触で高流速まで測定可能である特徴をもつ。両者の違いは、電波式はその精度が気温の影響を受けないことや電波免許が必要なこと、超音波式は気温の影響を受けるため気温計を併設して補正を行うという特徴をもつ。別途設置する水位計により水位及び断面積を測定しておき、本流速計で測定する流速を乗じることにより流量を算出することができる。

地表伸縮計

地表面の移動部と不動部の2点間（崩壊の亀裂を挟んで）にインバー線を張り、この伸縮量を計測して変位を検出する機器であり、地すべり監視で広く用いられる。

ワイヤーセンサー

土石流検知センサーのひとつ。溪流の横断方向にワイヤーを張り、ワイヤーが土石流の通過により切断される事により土石流を検知する。単純な構造で比較的信頼性が高いが、一度検知するとワイヤーの張り直しが必要となる。同一場所の高さ方向に複数のワイヤーを張ることにより、土石流規模の推定も可能である。

振動検知式土石流センサー（振動センサー）

土石流検知センサーのひとつ。溪流を土石流が流下する際に発生する地盤振動レベルを溪流付近に設置した振動計で測定し、一定レベル以上の振動を得た場合に土石流発生と検知判断する機器。繰り返し検知が可能なこと、土石流流量規模の推定が可能なことなどの特徴をもつ。

崩壊検知センサー

崩壊検知センサーは、変位によるセンサーの傾きを検知して無線伝送するものであり、閉塞部が侵食等により変位を生じることを監視することができる。安価、施工が簡単、長期間運用可能であることなどの特徴を有する。

雨量計（転倒まず型雨量計）

口径 200mm の受水口に入った降水を 0.5mm または 1.0mm で一回転倒するまずで受けて、転倒する回数から雨量を計測する雨量計。気象庁のアメダス観測所等で数多く使われている。また最近では、受水部が側面にあり風雨時の捕捉性を向上させた高標高用雨量計も開発されている。

監視カメラ

民生用のハンディタイプビデオカメラと、監視専用の CCTV カメラなどがある。前者は安価で操作性、調達性に優れ、消費電力も小さいので Ku-SAT の画像監視用として多用される。後者は解像度やタイプにより夜間使用性に優れるが、消費電力も大きく情報伝送量も大きいため、光ケーブル等による情報伝送が必要となる。

レーザスキャナ（レーザプロファイラ）

計測対象物に向かってレーザ光線を照射し、レーザパルスの往復時間から距離を計測するとともに照射方向・角度データと合わせることで、計測対象物の 3 次元座標を取得する機器。対象物の詳細な立体形状を描くことが可能である。航空機にレーザ測距装置等を搭載して計測する「航空レーザ測量」と、航空レーザ測量より高密度かつ高精度にデータを取得できる可搬式の測量機による「地上レーザ測量」とがある。

トータルステーション

トータルステーションとは、測定点の鉛直角・水平角・距離の 3 要素を同時に測定し、測定値を電子的データとして出力または保存する機能を有する電子光学測量機で、現在の測量機の主流となっている。トータルステーションには、プリズム型とノンプリズム型があり、前者は測定点に置くプリズム反射鏡からの反射光を測定する方法であり、測定距離が長く精度も良いが、プリズム反射鏡を設置が困難な天然ダム現場では使用できない場合が多い。後者はプリズム反射鏡を置かず対象物からの反射を測定する方法であるため、天然ダム現場で用いることができる。

距離計（簡易レーザ）

計測対象物に遠隔からレーザ光線を照射し、その反射時間から距離の計測を行う。高度角及び水平角も計測可能なタイプもあり、ノンプリズム型トータルステーションの簡易版となりうる。安価であり、小型で重量が軽いため携帯性に優れている。

GPS (Global Positioning System)

地球上における現在位置を測定するために衛星を用いる全地球測位システムであり、測量をはじめ様々な分野で応用されている。GPS を閉塞土砂等に設置することによりその移動量を知ることができる。山間部の使用に当たっては、地形や樹木の影響を受けて受信できない場合があるため注意が必要である。

Ku-SAT（衛星小型画像伝送装置）

国土交通省の各事務所に整備がされている通信衛星を利用した情報伝送装置であり、固定局（事務所に設置）、可搬局（災害現場に設置）から成り、機器はアンテナ、ODU、IDU、画像符号化装置などにより構成される。特徴として、機動性、広域性、同報性、耐災害性などに優れることなどがある。画像伝送、電話通話及び電話回線を利用したデータ送信が可能である。

テレメータ/災害テレメータ

テレメータは、水位・雨量などの観測情報を無線により遠方に伝送するシステムであり、国土交通省や自治体などで広く普及している情報基盤である。災害テレメータは、このシステムを人力可搬式にして災害現場に持ち出せるようにしたものである。

卷末資料

1. 代表的な観測機器の性能・規格

表 代表的な観測機器の性能・規格(1)

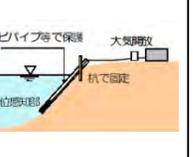
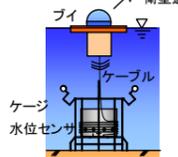
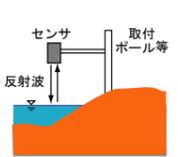
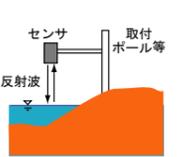
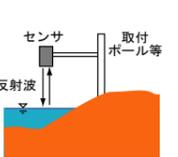
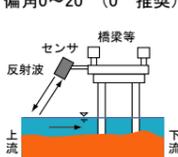
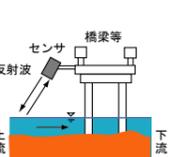
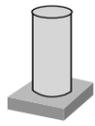
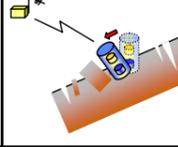
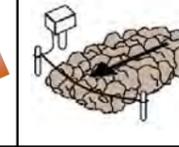
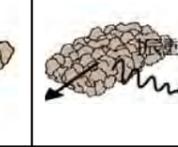
監視内容		全体状況		水位				流速			
監視機器		携帯型カメラ (デジタルビデオカメラ)	固定型カメラ	水圧式水位計	投下型水位観測ブイ	非接触型水位計			可搬型流速計 (ブライス式・電磁式等)	非接触型流速計	
						超音波式水位計	電波式水位計	光波式水位計		電波式流速計	超音波式流速計
外 観											
測定項目		映像	映像	水圧から水位変換	センサーから水面までの距離(水深)	センサーから水面までの距離			プロペラの回転数など	ドップラー変位	ドップラー変位
測定範囲		レンズ・設置位置による 最低被写体照度: 5lx	レンズ・設置位置による 最低被写体照度: 0.00007lx	～水深70m	～水深40m	水深0.6～15m	水深0～20m	水深3～50m	0～2m/s程度	流速: 0.5～20m/s 距離: 1～40m	流速: 0.5～10m/s 指定水位から10m以内
測定精度		画素数: 水平1920画素× 垂直1080画素	解像度: 水平850本、垂直 350本	F.S 0.05% (10m測定用で0.5cm)	F.S 0.05% (10m測定用で0.5cm)	±1cm	±10mm	±1cm	F.S 1%	±0.05m/s	±0.01m/s
電 源	電源種別	商用電源 バッテリー駆動	商用電源	商用電源 バッテリー駆動	バッテリー駆動	商用電源	商用電源 バッテリー駆動	商用電源 バッテリー駆動	バッテリー駆動	商用電源 バッテリー駆動	商用電源
	消費電力・電流 (又は標準バッテリーでの使用時間)	4.5W 標準バッテリー使用: 約2時間	AC100V 約270W	DC12V 3mA (センサー単体)	DC12V 450mA (センサー、通信装置含 む)	DC12V～20W以下 AC100V～30VA以下 (センサー単体)	DC18～36V 最大22mA (センサー単体)	DC12V (センサー単体)	電池で約15時間程度	DC48V 最大0.12A	AC90～110V
情報通信システムとの接続 (詳細は表2参照)		Ku-SAT 衛星通信車 光ケーブル等	Ku-SAT 衛星通信車 光ケーブル等	ほとんどの機器で 伝送可能	内蔵する衛星通信端末 で伝送する。	ほとんどの機器で 伝送可能	ほとんどの機器で 伝送可能	ほとんどの機器で 伝送可能	—	ほとんどの機器で 伝送可能	ほとんどの機器で 伝送可能
施工性・付帯施設		三脚等で設置 屋外設置対策が必要  ビデオカメラ用三脚	カメラ支柱、電源配線等 施工  高さ10m程度 監視カメラ カメラ制御 映像情報出力	護岸等に固定設置  塩ビパイプ等で保護 大気開放 水位センサー 水位観測	ヘリコプターから投下設 置 衛星通信  ブイ ケーブル ケージ 水位センサー	送受波器取付ポール等 施工  センサ 取付 ポール等 反射波	送受波器取付ポール等 施工  センサ 取付 ポール等 反射波	送受波器取付ポール等 施工  センサ 取付 ポール等 反射波	人手による入水 ポール等に取付  センサ	三脚等で簡易設置、 橋脚等構造物に設置 俯角20～45°(40°推奨)、 偏角0～20°(0°推奨)  センサ 橋脚等 反射波 上流 下流	橋脚等構造物に設置 俯角30～45°(45°標準) 偏角0°標準  センサ 橋脚等 反射波 上流 下流
維持管理の注意事項		バッテリーの交換 レンズの汚れ	—	土砂流入により埋没 受感部の汚れ・つまり	土砂・流木によるケーブ ルの引っかかり、余震に よるケージの転倒	—	—	レンズの汚れ	—	—	—
代表的な機器の概算単体 (工事費・通信機器は含まない)		5～20万円	300～500万	20～130万	370万～ (通信機器込み)	100～200万	100～200万	100～200万	40～60万	100～300万	100～300万
初動時の対応(適応性)		民生品で多く出回っている ので入手が容易	商用電源が必要 設置工事に時間がかかる	水文観測に多く使われてお り、入手は容易 仮設置で運用可能	入手はメーカーの在庫次第 だが、事前整備が望ましい	入手はメーカーの在庫次第 ポール等施工が必要	入手はメーカーの在庫次第 ポール等施工が必要	入手はメーカーの在庫次第 ポール等施工が必要	水文観測によく使われ 入手が容易	入手はメーカーの在庫次第 橋梁等の構造物が必要	入手はメーカーの在庫次第 橋梁等の構造物が必要
備 考											

表 代表的な監視・観測機器の性能・規格(2)

監視内容		降雨量	侵食量			移動量	崩壊検知	発生検知	
監視機器		転倒ます型雨量計	距離計(簡易レーザ)	トータルステーション(ノンプリズム)	3Dレーザスキャナー	伸縮計	崩壊検知センサー	ワイヤーセンサー	振動センサー
外 観									
測定項目		転倒ますの転倒回数	レーザの往復時間から対象までの距離に変換	光の往復時間から対象までの距離に変換	レーザの往復時間から対象までの距離に変換	インバー線の伸縮量	センサーの傾き	ワイヤーの切断	土石流の振動
測定範囲		150mm/h以下	10~1,100m	5~2,000m	2~2,000m	~500mm	30°以上の傾き	ワイヤーの切断 引張強さ141kg	~2000gal DC~30Hz
測定精度		0.5 or 1.0mm	0.5~1.0m	±(10+10ppm・D)mm	±10mm	0.1mm	—	—	0.1gal以下
電 源	電源種別	商用電源 バッテリー駆動 (センサーは電源不要)	バッテリー駆動	バッテリー駆動	商用電源	バッテリー駆動	バッテリー駆動 (受信機側は別途必要)	商用電源 バッテリー駆動	商用電源 バッテリー駆動
	消費電力・電流 (又は標準バッテリーでの使用時間)	単4電池2本で約1年間 (簡易ロガー使用)	DC3V	DC6V 内蔵バッテリーで6時間 程度	108W以下	単一乾電池3本使用で6ヶ 月以上計測	単3乾電池4本で1年以上	DC12V 平均消費電流:0.5mA以 下	DC12V 20mA
情報通信システムとの接続 (詳細は表2参照)		ほとんどの機器で 伝送可能	—	ほとんどの機器で 伝送可能	ほとんどの機器で 伝送可能	ほとんどの機器で 伝送可能	ほとんどの機器で 伝送可能	ほとんどの機器で 伝送可能	ほとんどの機器で 伝送可能
施工性・付帯施設		基台に水平に固定 	距離計:手持ち計測 	三脚等で設置 	三脚等で設置 	杭、保護管等設置 	斜面に杭を打設して センサーを固定 	渓流を挟んだ構造物、又 は杭などに設置 	基礎土台に設置 
維持管理の注意事項		受水部への草・葉等の除 去	—	—	—	インバー線の接触	—	動物などによる切断	ノイズによる誤動作
代表的な機器の概算単体 (工事費・通信機器は含まない)		10~40万	距離計:3~6万	100~200万	~2000万	20~30万	センサー 5万/台 受信機 50万	60万	70~200万
初動時の対応(適応性)		気象観測で多く使われてお り入手・施工が容易	測量等多く使われ入手が容 易	測量等多く使われ入手が容 易	価格が高く所有しているこ ろが限られる	地すべり観測に多く使われ おり入手が容易	入手はメーカーの在庫次第	土石流観測等に多く使われ おり入手が容易	入手はメーカーの在庫次第 検知基準の設定が必要
備 考									

2. ヘリコプターによる監視

～土木研究所資料：ヘリコプターによる土砂災害状況に関する研究報告書（平成3年7月）より抜粋～

1. ヘリコプターの各種センサと土砂災害情報内容との関連性の検討

既往の地震等における被害の調査状況の結果によると、土砂災害情報の収集伝達に関して改善すべき点として以下の点が挙げられている。

a) 情報の収集に時間がかかる

放置車両等の路上障害物、施設の被害、帰宅目的の車両の増加などによる道路の交通渋滞によって施設の調査が思うようにはかどらない。また、電話回線のふくそうにより調査結果の伝達が十分できない場合が多い。

b) 情報伝達の内容が不十分

震後の混乱が主な原因であり、伝達される情報の内容が断片的で情報の受け手側で被災状況の把握が十分できない。

c) 情報が不正確

未確認情報が多量に入ってくると同時に、調査担当者の主観的な判断に依存するため、各々の情報の精度を判断できない。

このように、過去の経験によれば現地調査による被害調査では、土砂災害発生後に迅速に情報を収集し、必要部署に正確に伝達するということが難しかった場合が多い。このため、大規模かつ広域的土砂災害が発生した場合には、機動的に富むヘリコプターを用いた上空からの被害調査が有効となる。正確な情報を伝達するためには、客観的な情報伝達手段であり、かつ、記録に残すことが可能な写真及びビデオ映像等の映像情報を使うことが有効となる。

1.1 防災情報ヘリコプター“あおぞら号”の概要⁵⁾

本調査では、建設省が昭和63年4月に導入した防災情報ヘリコプター“あおぞら号”を用いた。あおぞら号は、河川、海岸、道路等の施設の大規模災害に際して、災害の軽減、早急な災害復旧を図るため、即時・広域情報の収集・伝達を行うとともに、施設管理、施設計画・調査等を効率的に行うことを資することを目的として導入されたものであり、機種は米国製双発中大型ヘリコプター「ベル214ST」である。本機の主要な性能を表-1.1に示す。本機には、情報収集・伝達を行うための機器として、画像伝送システム、位置出し装

表-1.1 あおぞら号の主要性能

最大搭乗者数 (パイロット含む)	20名
最大巡航速度	240kr/h
最大運用高度	6,060m
最大航続距離 (増加燃料タンク装備時)	1,080km
最大航続時間 (増加燃料タンク装備時)	4.5時間
有効載重量	3,619kg

置、熱線画像システム、垂直ステレオ写真撮影装置などを装備している。

1.2 空中情報センサの概要

防災情報収集ヘリコプターあおぞら号に装備されている空中情報センサは表-1.2 に示した4種である。このうち、モニタビデオカメラは、垂直スチールカメラの視野確認の目的で取り付けられている。これらの内ビデオ映像データは空中電送も可能であり、災害発生時の迅速な災害情報収集という点で中心的な情報源となると考えられる。以下に4種のセンサの機能の概要について述べる。

1.2.1 カラービデオカメラ

本ビデオカメラは、振動防止懸架装置(WESCAM)に装着されており、三軸ジャイロによる振動量の検出機構と、補正機構により、安定した光軸が得られるようになっている。カメラの光軸方向(撮影方向)及び焦点距離の選定、焦点の選定、焦点合わせなどの操作は機内のリモートコントロール装置で行なうことができる。

2/3インチ規格のダイクロイックプリズム3管ブランピコン方式の撮影管を備え、水平解像度(中心部)が650本以上の性能を持つ。画像の有効画素数は、横×縦=450×350個より約15万個、また、1個の画素の大きさは、20 μ m平方程度である。画像上における被写体の大きさは縮尺(焦点距離/撮影距離)に応じて変化する。従って1画素で表現される被写体の限界長さは下のように試算される。しかし、実際の最小識別長さは、走査線数で6本程度とされており、具体的には表-1.3の値を6倍した値が識別限界となるが、被写体の反射能やコントラスト及び照度等の撮影環境によっても識別の難易は影響される。また、識別の難易性は被写体とカメラの相対速度と縮尺によっても生じる。

表-1.2 空中情報センサ

センサの種類	感知領域	光 軸	焦点距離	収 録
カラービデオカメラ (HL-95)	可視光線	水平 360° 垂直 30°~90°	f=12.5~275mm 2倍エクステンダ付	3/4", 1/2" VTR
熱赤外ビデオカメラ (2500A/B)	熱赤外線 (8~12 μ m)	水平 +120°~-120° 垂直 +30°~-180°	普通角(40°×21.5°) 望遠 (7°×3.25°)	1/2" VTR
垂直スチールカメラ (MK-70) 2台	可視光線	垂直固定 -90° 基線長 11m	f=60mm (53mm×53mm)	各種 フィルム
モニタビデオカメラ (C1-10)	可視光線	垂直固定 -90°	f=8mm	1/2" VTR

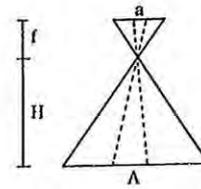
表-1.3 撮影距離Hと焦点fの関係からみた画像の識別長さ

H \ f	12.5~275mm	25~550mm
150m	24.0~1.1cm	12.0~0.55mm
300m	48.0~2.2cm	24.0~1.1 cm

$$a : f = A : H \text{ より}$$

$$a = (f/H) A$$

H; 撮影距離
A; 被写体の長さ
f; 焦点距離
a; 画像の長さ



1.2.2 熱赤外ビデオカメラ

Hg Cd Te を素子とする単管シリアルスキャン方式のイメージセンサで、8~12 μm の熱赤外線を感じることにより、-30°C~+55°C の範囲の被写体を識別する。また、その温度分解能は 0.1°C、最小識別温度差は 0.25°C となっている。有効画素数は概ね横×縦=350×180 (160) () は狭視野) となっており、画像分解能はカラービデオカメラを 1.0 として、0.8~0.7 程度となる。

1.2.3 垂直スチールカメラ

有効画角 53 mm×53 mm で内部定位要素の明かな写真測量用のカメラが、機種と尾部に基線長 11 m の間隔で取り付けられている。緊急時には、精密図化というより迅速なデータ作成が目的であり、精度的な要求が少ないものとすれば、オーバーラップ率 60% 前後でも利用可能と考えられる。オーバーラップ率を 90% にあけても、H=125 m とかなりの低高度での撮影となる。したがって、現実的には、シャッタ間隔を縮尺 (f/H) に応じ適当にとることにより目的の画像を得ることになる。

シャッタ間隔 (t) と飛行速度 (V) から、基線長は Vt で求められる。オーバーラップ率 60% とすると、

$$Vt = (1 - 0.6) A$$

$$\therefore a = (f/H) (Vt/0.4)$$

したがって、飛行速度 (V) と対地高度 (H) を与えると表-1.4 のようにシャッタ間隔を求めることができる。

ただし、低高度で飛行速度が大きい組み合わせでは画像が流れる恐れがある。ここで、スチール写真における最小識別長さを 20~30 μm とし、シャッタ開口中にこの長さだけ画像が移動すると画像の流れが目立つとした場合の対地高度と飛行速度の組み合わせによるシャッタスピードの選択は表-1.5 のようになる。

ただし、低速度シャッタでは機体振動によって画像が流れる場合がある。1/125 秒以下でこうした現象が起きやすくなる。

このほか、垂直スチールカメラの使用に当たっては空中では露光量の調整ができないので、現場の照度とフィルム感度よりあらかじめ絞りとシャッタスピードの組み合わせを決定しなければならない。また、赤外フイ

表-1.4 対地高度Hと飛行速度Vとの関係からみたシャッタ間隔

H \ V	30km/h	60km/h	90km/h	120km/h
150m	6.4sec	3.2sec	2.1sec	1.6sec
300m	12.7sec	6.4sec	4.2sec	3.2sec
450m	19.1sec	12.7sec	6.4sec	4.8sec

表-1.5 対地高度Hと飛行速度Vとの関係からみたシャッタースピード

H \ V	30km/h	60km/h	90km/h	120km/h
150m	1/125~1/500	1/250~1/500	1/500	1/500
300m	1/60~1/500	1/125~1/500	1/250~1/500	1/250~1/500
450m	1/60~1/500	1/125~1/500	1/125~1/500	1/250~1/500

フィルム等の特殊フィルムを使用する場合には、IR フィルターの装着及び焦点距離調整を行っておく必要がある。

1.2.4 モニタビデオカメラ

CCDを撮像素子とするビデオカメラで、水平解像度は300本である。このカメラの光軸は垂直下方に固定されていることから、スチールカメラの視野確認の他ヘリコプターの概略の所在地の判定、災害の平面的規模の把握及びステレオビデオ画像による高さ・深さの判定などに活用できる。ステレオビデオ画像による高さ・深さの判定は、カラービデオカメラのビデオ映像や垂直スチール写真の方が解像度の点で優れているが、モニタビデオ映像は連続的に常時記録しておけば任意の場所で高さの判定ができるので有利である。

ステレオモデルでは比高(ΔH)は次式で表される。

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{P + \Delta P} H$$

H ; 撮影高度
 ΔH ; 高さの差 (比高)
 P ; 視差
 ΔP ; 視差差

視差(P)は、被写体(点)の2枚の画像における位置の差で、基線長(B)と縮尺(f/H)の積P=(f/H)・Bで表され、視差差は、画像上の2点の視差量の差である。したがって、高さの精度は、画像上における視差の測定精度に大きく依存することになり、画像の分解能が高いほど精度は良くなる結果となる。この点で、モニタビデオの映像は、他のイメージデータの比較して不利といえる。

視差差を利用した測定技術は、流速の測定にも利用されている。

1.2.5 高度化のための新技術

情報収集能力の向上、あるいは情報加工技術の高度化のための今後の新規技術の主なものをあげると次のようである。

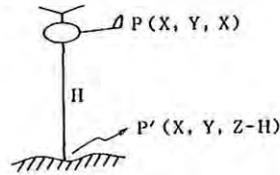
(1) イメージセンサ

分解能の向上という点ではハイビジョンシステムがあげられる。

水平走査数が1,125本で現状の2倍、画素数にすると5倍性能が向上するため、比高高度を下げなくても解像度の高い映像が得られる。また撮影環境の拡張という点ではナイトビジョンシステムがあげられる。最低照度0.021 Luxのもとで、カラー映像が得られるので、夜間や低照度環境で情報が収集能力が向上する。この他、イメージレダシステム、衛星画像データベースシステム等が考えられている。

(2) 地形センサ

ヘリコプターの所在地がGPSデータで把握でき、ヘリコプターと地表との離隔量がわかれば、地形断面



(縦・横断, 比高・深さ) が得られる。特に、天然ダム及び長大斜面崩壊・地すべりなどの大規模な土砂災害の形態的特徴を定量的に迅速に入手することが可能となる。イメージデータは面的な情報収集に優れているが、高さ、深さ方向の情報精度はあまり期待できない。プロファイラデータを付加することにより、情報精度の向上と情報収集力のアップが図れると考えられる。特に、レーザを用いたプロファイラはビーム角が狭く、林地でも有効である。10~500 m 間隔で 0.2 m 精度のものが開発されている。

(3) 土質センサ

災害の拡大予測や復旧計画にとって、災害地の土質情報は極めて重要であるが、現状のイメージデータからでは、表面状態から推測する以外に方法はない。移動土塊の厚さや内部構造、浸潤面の深さ等がリアルタイムで得られれば、危険度判定に有効な情報となる。現在、接地タイプのレーダ探査機が実用化されているが、今後、空中情報センサとしてレーダ波の利用が検討されて良い。

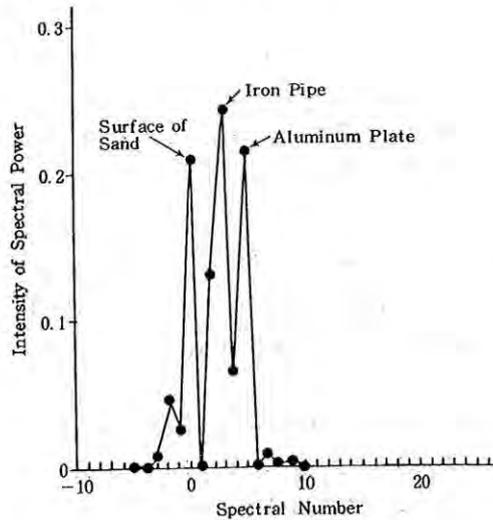


図-1.1 砂中に埋められたターゲットを検知する実験結果(高速フーリエ変換後)、この場合、鉄パイプが表面より 40 cm の位置に埋められている。また、アルミ板が砂箱の下の (砂の表面より 70 cm の距離) に敷かれている。

地下探査レーダで粒度組成までは無理しても、天然ダムの高さ、崩壊残土の厚さ、表層土層の厚さなど、深度方向における土質構造が具体的に把握できる可能性がある。

図-1.1は、砂中のターゲットの検出例であるが、地層の比誘電率の差が大きければ、層面を検出することも可能であり、土質センサとして利用できよう。また、地形センサとしての機能も持っている。

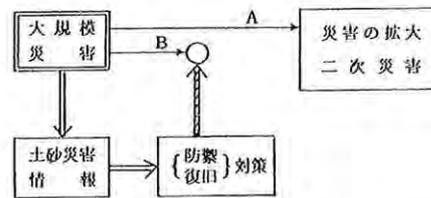
(4) 位置センサ

従局が不要であること及び位置精度の点から GPS システムが有利であり、災害情報システムの開発プロジェクトにおいても、その利用が研究されている。

実用上、定点で受信した場合は数 cm 以下で位置を定めることが可能であるが、ヘリコプターのような移動体での観測では、今のところ数 m オーダー以上の誤差があり、開発研究中の段階となっている。

1.3 土砂災害情報の内容とセンサの対応性

本調査は、大規模な災害が発生した場合の、災害の拡大防止、二次災害防止及び被災施設の復旧等を迅速にかつ適切に実施するための基本情報の提供を目的としている。



すなわち、大規模災害発生直後から始まるさまざまな土砂移動プロセスの進展に伴って予想される災害の拡大とこれによってもたらされる二次災害の発生（進路 A）を、土砂災害情報を基礎とした応急対策等によって、防止あるいは軽減させる（進路 B）ことを目指している。

土砂災害情報は、災害の実状を把握するための実態に関する情報と、災害の拡大予測・二次災害防止のための変動に関する情報とに分けて考えることができる。これらは、更に、次のように分類できよう。

a. 実態を把握するための情報

- a-1. 長大斜面崩壊・地すべり及び天然ダムの位置、形状・規模・範囲などに関する情報
- a-2. 被災地における人命・建物・道路・施設等の被害状況に関する情報
- a-3. 被災地周辺の地形・土地利用・交通等に関する情報

b. 変動を予測するための情報

- b-1. 地質・土質・構成材料・湧水・流入流量など変動の素因にかかわる情報
- b-2. 亀裂・樹木の傾き・小規模崩壊・構成物の変状（変位・割れ目）等の前兆現象にかかわる情報

ここで、本調査で対象とされる土砂災害情報の資質をこの分類にあてはめると次のようである。こうした大規模災害の対象として天然ダム及び長大斜面崩壊・地すべりが取り上げられ、土砂災害に対する空からの調査項目として表-1.7 に示す内容があげられる。¹⁾ 表には今後付加すべきと考えられる情報センサについても対応性を示した。

表-1.6 土砂災害情報の資質の分類

土砂災害の資質		実態情報			変動情報		天然 ダム	長大斜 面崩壊
		a-1	a-2	a-3	b-1	a-2		
①	長大斜面崩壊・地すべり	○	○					①②③④
②	河床変動 (天然ダム)	○	○				①②③④	
③	山腹の亀裂					○		⑤
	ダムの亀裂					○		⑤
④	周辺の土地利用状況			○			⑦	⑦
⑤	周辺の道路復旧状況		○				⑩	⑧
⑥	土砂災害前兆現象					○	⑤⑥⑦⑧	⑥
⑦	その他				○			

表-1.7 土砂災害情報の内容

区分	土砂災害情報の内容	情報の質	
		実態	変動
長大斜面崩壊・地すべり	① 位置	○	
	② 範囲 (長さ・幅・面積)	○	
	③ 形状 (縦断形・横断形)	○	
	④ 崩土の到達範囲・土量	○	
	⑤ 斜面・のり面の変状等		○
	// 亀裂		○
	// 小規模な崩壊		○
	// 樹木等の傾き		○
// 建造物の亀裂		○	
// 湧水・沢水の流量変化, 濁り		○	
⑥ 地表移動量 (速度) の測定		○	
// 既存画像との比較 (移動量)		○	
⑦ 周辺の地形・人家等の配置	○		
⑧ 人命・建物・施設等の被害状況	○		
天然ダム	① 位置	○	
	② 高さ	○	
	③ 長さ	○	
	④ 幅	○	
	⑤ 流水流入量	○	
	⑥ ダム水位 (変化)		○
	⑦ 構成材料の透水係数	○	
	⑧ 構成材料の粒度	○	
	⑨ 周辺の地形・人家の配置	○	
	⑩ 人命・建物・施設等の被害状況	○	

土砂災害が発生した場合、現状で入手しうる主な情報源は次のようである。

- 空中からの情報源
 - ・カラービデオ映像
 - ・熱赤外線ビデオ映像
 - ・垂直ステレオ写真（及モニタビデオ映像）
- 補完情報源
 - ・2万5千分の1地形図
 - ・災害前のイメージデータ（衛星画像、空中ビデオ）
 - ・防災情報マップ等（地質図、氾濫危険区域等）
- データ加工支援
 - ・ヘリコプターの位置・高度・焦点距離等

補完する情報源としては、全国的にカバーされている1/25000地形図が有効である。災害の発生箇所がどのような場所であれ、ヘリコプターからのイメージデータと合わせて、映像の基本的な情報（a. 実態情報）化が図れると考えられる。

また、データ加工支援に関しては、GPSによる位置決定、カメラ光軸方位の検出などが検討されており、さらに、情報内容の高度化・効率化を旨とするものとして地形センサ、土質センサ等の装備や災害形状要相互の相関データの整備などが考えられてよい。

表-1.8に、土砂災害情報の内容と、各種情報源との対応性について検討した結果を示した。

情報とセンサの対応性及び問題点は次のとおりである。

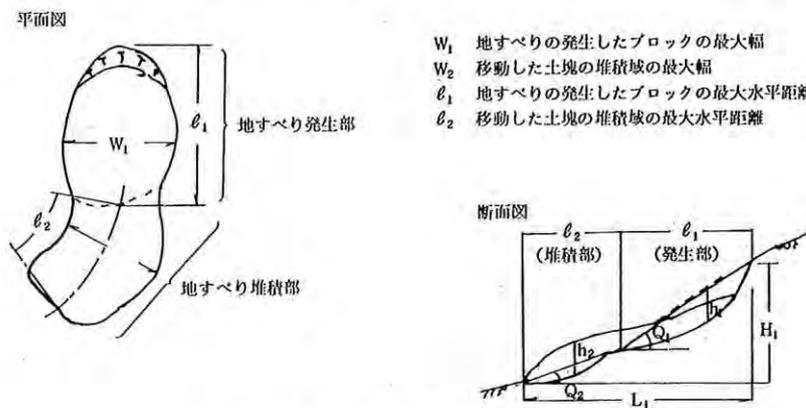
a. 長大斜面崩壊・地すべり

① 位置

災害発生地点・到達地点などは、カラービデオ映像と地形図で容易に知ることができる。また航法装置（GPSなど）を利用しても良い。

② 範囲（長さ・幅・面積）

下の図に示す地すべり形状諸元の定義に従って、ヘリコプターを飛行させ、非災害地との境界を画像からチェックし、地形図に移写する。その結果をもとに、範囲を知る。



事例調査における l_1 , l_2 , W_1 , W_2 の定義

表-1.8 土砂災害情報の内容とセンサの対応性

土砂災害情報の内容	イメージセンサ				地形 図	航法*		既存 画像	相関 データ	地形 センサ	土質 センサ
	カラー VTR	熱赤外	垂直写真	モニタ VTR		位	高				
長大斜面崩壊、地すべり	①位置	○	△		○	○					
	②範囲 (長さ・幅・面積)	○	△		○	○	○		○	○	
	③形状 (縦断形・横断形)	△		○~△		△				○	
	④崩土の到達範囲・土量	○			○	○			○	○	○
	⑤斜面・のり面の変状										
	// 山腹の亀裂・段差・ふくらみ	△	△	○						△	
	// 小規模な崩壊	○	○								
	// 樹木の傾き	○~△	△								
	// 構造物の亀裂・横ずれ・ふくらみ	△		○							
	// 湧水・沢水の流量変化、濁り	○~△	○~△								
	⑥地表移動量 (速度) の測定										
	// 移動量 (2時期画像比較)	○~△		○					○		
	// 土沼の厚さ・含水量		△								○
	// 土塊構成材料の土質	△	△								△
	⑦周辺の地形・人家の配置・土地利用	○		○	○	○			○		
⑧人命・建物・施設の被害状況											
// 建物・施設の被害状況	○				○			○~△			
// 道路の復旧状況	○				○						
天然 ダム	①位置	○	○		○	○					
	②高さ(厚さ) ③長さ ④幅	○	○		○	○	○		○	○	△
	⑤流入流量										
	// 河床横断形、縦断形	△		○		△				○	
	// 流速	○		○							
	⑥ダム水位(変化)										
	// 水位(変化)	○								○	
	// 越流・侵食・濁水	○	○								△
	⑦構成材料の透水係数	△	△								△
	⑧構成材料の粒度	△									△
⑨周辺の地形・人家の配置・土地利用	○		○	○	○			○			
⑩人命・建物・施設の被害状況											
// 建物・施設の被害状況	○				○			○~△			
// 道路の復旧状況	○				○						

凡例：○：対応する △：対応性に難がある 無：対応性がない 高：高度 位：位置

この時、地形センサを併用し、飛行速度を記録しておけば、高い精度で範囲を把握することができる。

また、形状要素相互の相関関係から素早く推定値を得ることも有効であろう。

③ 形状 (縦断形・横断形)

範囲情報の収集と同じであるが、高さ方向の情報をとらえることがイメージデータでは困難をともなうことが多い。垂直ステレオ写真の利用も時間がかかること、部分部分を計測して総合しなければならないなどの問題があるので、地形センサがより重要視される。

災害実態の基本形状を効率的に知る上で地形センサはぜひ必要と考えられる。

④ 崩土の到達範囲・土量

範囲・形状の結果を総合することによって、この災害情報を整理することができる。

⑤ 斜面・のり面の変状

斜面・のり面の変状は災害の拡大に対する前兆として重要な情報である。

この種の変状は、微細なものが分かる必要があり、イメージデータの分解能に大きく影響される。

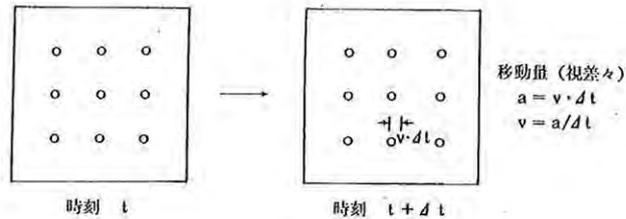
対地高度 150 m の時、焦点距離 150 mm で撮影した場合、20 cm 前後の大きさが、最小単位の大きさと考えられ、44 倍ズームで最長焦点距離 550 mm では、5 cm 前後となる。

しかし、物として識別可能な大きさはこれより大きく、したがって情報内容によっては、超低速・低高度・長焦点による撮影が前提となる場合が予想される。

⑥ 地表の移動量（速度）の測定

災害が発生中の土砂移動のように速度が大きい時は、カラービデオ映像は、貴重な情報源となる。しかし、前兆現象のような微速度な現象はビデオではとらえにくい。垂直写真による視差々による変動箇所の抽出と速度計測が中心となろう。物体の移動速度測定はカメロン効果を利用する。

次の図で、中央の点のみが速度 v をもっていたとすると、 Δt 時間後には右の図のような映像が表われることになる。このずれを、視差というが、一般に、地表は凹凸があり、任意の点は視差を有しているので、移動による視差の増（減）分を視差々という。この量分かれば、 Δt は得られているので速度を求めることができる。



地表の移動に関わる情報としては、構成材料の厚さ・含水量・土質などの情報が、災害を予測する上で重要である。土層の含水状態は、地表からの熱赤外線放射に影響を与えるので熱赤外線ビデオ映像が有効であり、とくに、スベリ面の位置の推定には、電磁波を用いた土質センサからの情報が有効となろう。

⑦ 周辺の地形・人家の配置・土地利用

カラービデオ VTR と地形図を組み合わせることで現況が把握できる。

既存の空中写真やビデオ VTR などがあれば利用可能である。ただし新しい時期であることが必要である。

⑧ 人命・建物・施設の被害

道路の復旧状況もあわせ、⑦とほぼ同じであるが、建物・施設の被害状況に関しては、微細な亀裂・変形などもとらえる必要があり、⑥に示したように撮影方法の工夫が必要である。

人命については、直接情報をとらえることはできない。全壊・埋没・流先家屋を大縮尺地図などから読みとり、調査する。

b. 天然ダム

① 位置

長大斜面崩壊・地すべりの項に同じ

②～④ 高さ・長さ・幅

長大斜面崩壊・地すべりの項に同じ

ただし、天然ダムの高さ（堆積土砂の厚さ）については、土質センサが使える場合もある。

また、天然ダム堆積勾配（下流側）について、地形センサで計測しておけば、越流時の流水の掃流力を推定する手がかりとなる。

⑤ 流入流量

河床横断形、水深及び平均流速が与えられれば推算することが可能である。河床横断形は、映像や地形図から推定するより、地形センサを利用した方がよい。流速は、カメロン効果により算定するか、浮子法によって平均流速をもとめるかのいずれかである。

カメロン効果の場合は、水面が比較的平滑で、浮遊物が多いことが必要であり、浮子法の場合は、航空機からの投下規制の問題がある。

航空機から物を投下する場合は、あらかじめ航空局に届出の必要がある。

⑥ ダムの水位（変化）

越流・浸食・漏水などの変化と合わせ、時系列的な連続観察（撮影）により変化を把握することは可能と考えられる。

ただし、微小な水位変化はイメージデータからだけではとらえにくい。地形センサの断面比較などの方法を併用すると良いと考えられる。

⑦, ⑧ 構成材料の透水係数、粒度

天然ダムの構成材料の土質定数をリモートセンシングデータから求めることは困難が伴う。

イメージデータは、表面状態を示しており、内部状態まではとらえていない。熱赤外線ビデオ画像からの温度分布及びその時間的変化から、構成材料と含水状態の異なる分布を知ることは可能であるが物性値そのものは判らない。土質センサの場合も、異なる物性の境界を検知するが、構成材料そのものの性質までは分かりがたい。

したがって、構成材料の透水係数については、表面物質の状態から砂がちで水が浸透しやすいと見られるか、細粒で保水性が良いようであるかなどと経験的に判断せざるを得ない。含水状態の相対的な比較であれば、熱赤外ビデオ映像が有効である。

ビデオ映像は、画素サイズが大きく、自から識別できる最小の礫径も大きくなる。高度 150 m、焦点距離 150 mm の撮影では 1 m 以上の岩塊があれば画像上で識別できるがそれ以下は難しいことが予想される。この場合、垂直ステレオ写真イメージを活用することになるが上記撮影条件では数 cm が限度となる。

適当な長さの標尺と合わせて表面礫を撮影し、表面礫の粒度分布を計る方法がある。

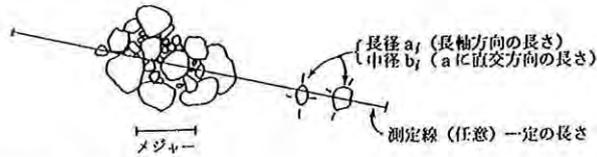
画像中に任意の直線を引き、これにかかる礫の長径^(a)、中径^(b)、(短径^(c)は、上下方向と仮定)を計り、 $3\sqrt{abc} \propto 2\sqrt{ab}$ より、粒径を決定し、粒度組成を求めることができる。

しかし、この方法を、表面の粗粒礫の組成を表わすだけで、構成材料全体の粒度を示すものではない。

⑨ 周辺の地形・人家の配置・土地利用

長大斜面崩壊・地すべりに同じ

参考 (写真による粒度組成調査)



代表粒径は一般に中軸 (b) となる。また、

$$b \approx \sqrt[3]{abc}$$

なる関係も知られている。ここで、

$$a \cdot \sqrt{ab} = \sqrt[3]{abc}$$

と仮定すれば、 \sqrt{ab} より代表粒径を決めることができる。測定線にかかる代表粒径を、粒径階毎に集計すれば粒度組成が得られる。

⑩ 人命・建物・施設の被害状況

上述した内容と同様である。

1.4 情報収集のための飛行方法の検討

土砂災害情報の内容について、長大斜面崩壊・地すべり及び天然ダムを対象として検討した結果、災害の実態を把握するための情報と、二次災害などの拡大予測につながる変動を把握するための情報とに分けて整理することが有効と考えられた。

さらに、土砂災害の発展段階を加味した場合、情報の活用という点から、次のような飛行方法の種別が検討されている。

- a) 緊急飛行
- b) 一定飛行
- c) 調査飛行

これらの飛行方法の流れ、及び解説は次ページ以降に示したようになっている。

発災害直後の緊急飛行では、対策本部に対してリアルタイムで現場状況を伝えることが第一の目的といえ、したがって、映像伝送システムなどの情報伝達が重要視される。

逆に、災害実態の詳細な把握、変動予測など、加工情報が重要視される場合には、品質の良いオリジナルデータの利用が基本となり、既時情報伝達に関する要求は少ないと考えられる。

すなわち、災害復旧の各段階において、必要とされる土砂災害情報の性質や情報の伝達方法も異なってくると考えており、本格的な復旧対策を対象とした第三段階では、ヘリコプターからの情報はそれほど期待されておらず、応急復旧が対象の第2段階においてもヘリコプターからの情報は、次のような場合に限定されることが予想されている。

- (1) 地上からの調査が行なわれた状況にもかかわらず、早急に応急復旧に取り組まなければならない場合。
- (2) ヘリコプターからの調査により定量的な資料が得られ、その結果を応急復旧に反映できる場合。

したがって、土砂災害情報の収集でヘリコプターが活用される段階としては、災害復旧の第1段階が中心

表-1.9 ヘリコプターの段階的な飛行方法

飛行方法	緊急飛行	一定飛行	調査飛行
災害復旧 第1段階 (方針策定)	広域情報収集視察 者の指示による飛 行・撮影	定められたコー ス、撮影条件によ る調査	細部拡大調査視察 者の指示を受ける
災害復旧 第2段階 (応急復旧)	—	—	地上調査不可、定 量的資料
災害復旧 第3段階 (本格復旧)	—	—	有効な場合

となる。地上パトロールに比較してはるかに高速で迅速に隅なく調査が行なえることを利用して、災害の位置・範囲・被災の分布、重要施設の被害概要及び二次災害の発生微候など、すみやかに全体像を把握し、以後の災害復旧の方針策定に資することができるからである。

とくに、今回の調査で対象とした、長野県西部地震に際して発生した土砂災害のように大規模な災害、放置すると重大な二次災害を引きおこす可能性のある災害では、ヘリコプターの機能がいかんなく発揮されるものと期待されている。

次に、今回の調査を通じて検討を行なった土砂災害被災度把握、復旧工法選定に必要な情報を得るためのヘリコプターの飛行方法について整理する。

1.4.1 ヘリコプターの機能からみた場合

a) 飛行高度

ヘリコプターの機能からは、任意の高度での飛行が可能である。しかし、最低飛行高度が定められており、それ以下で飛行する場合は事前に航空局の許可を得ておく必要がある。緊急時には間に合わない事態も予測されるため、最低飛行高度以上の飛行が原則となる。また、地形起伏に対してある程度追従できるが、対地高度を一定に保つのは難しく、等圧面（海拔高度一定）飛行に近い飛行となる。このため、調査地の高所に対して、最低飛行高度以上を保つようにし、凹凸に伴う縮尺（ f/H ）の変化は、ズーミングで対応することになる。

b) 旋 回

パイロット・オペレータ及びカラービデオカメラは機体の右側に位置している。したがって、旋回方法は右旋回（時計まわり）となりやすい。このため、機上の視察者も右側に位置するとコミュニケーションがとりやすくなる。

c) 機内コミュニケーション

視察者の位置を右側にするほか、撮影対象物の用語を統一し、パイロット、オペレータ及び視察者の間で共通の言語が用いられるようにすると良い。通常時の飛行に際しては、事前の打ち合わせなどで専門用語について解説し浸透を図ることが大切である。

d) 飛行方法

強風下の飛行では、飛行方法に制約を受ける場合がある。このため、カメラ光軸の方向を自由に選べなくなるため、望ましいデータが得られない事態も有り得る。

e) 法 規 則

ヘリコプターにかかわる主な法規則には次のようなものがある。

- ・フライトプランによる飛行
- ・管制圏・管制区内の飛行制限
- ・有視界飛行条件（視程 5 km, 雲底 300 m 以上）
- ・場外離発着の事前許可
- ・制限高度以下の飛行の事前許可
- ・物体の投下（例えば浮子）の事前許可

1.4.2 各種センサの機能からみた場合

a) 縮 尺

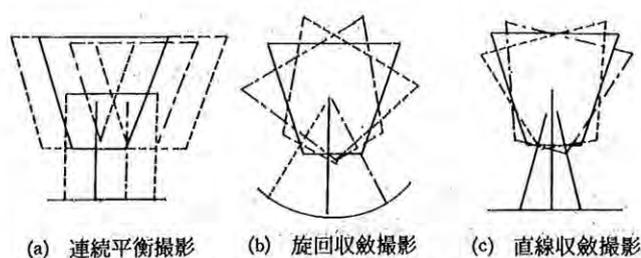
縮尺はイメージデータの情報精度に強く影響するパラメータである。このパラメータ (f/H) のうち、 H に相当する対地高度はヘリコプターの機能からみて任意に選びにくい。したがって、カメラ側の焦点距離を調整することによって縮尺を決定することになる。空中でズーム機能を使用する場合は、視察者が判断できるように、それぞれの焦点距離による映像を一定期間（例えば数秒）以上撮りうづけるようにし、またその時の焦点距離を音声で記録していくと良い。

b) 光 軸

重要な災害場面に遭遇すると、その場所を中心として旋回撮影（図—1.2(b)）を行ったり、追跡撮影（図—1.2(c)）を行ったりするケースが多い。災害情報を加工技術で高度化する場合は、図—1.2(a)のような状態の方が、ステレオペアも作れ、飛行方法としては良好と考えられる。したがって、(a)のような撮影方法も必ず加えておくようにすることが望ましい。この場合、機体軸でなく飛行方向に直角に光軸をとることがポイントである。

c) 露 出

カラービデオカメラには自動露光調節機能があり、日中の野外であれば曇天でも撮影は可能である（最低感度 200 Lux）。しかし、垂直スチールカメラの場合、空中でのコントロールができないため、現地の照度条



図—1.2 斜め写真の分類

件を考慮し、露光量をセットしておかねばならない。この場合、機体振動の面から、シャッター速度 $1/250$ 以上が条件となり使用フィルムの感度条件に合わせ絞りを決定することになる。開放で $F5.6$ のレンズを使用しているため、一般的には、晴天の日中撮影が基本と見て良い。

フィルム感度のバリエーションが解像力は白黒フィルムの方が秀れているので、カラー写真にこだわらず白黒写真も活用したい。また、赤外線フィルムを使用する場合は、フィルムタイプに合わせ IR フィルターを装着すること、及び焦点位置を修正しておく必要があるため注意が必要である。

1.4.3 災害形態からみた場合

a) 長大斜面崩壊・地すべり

御岳崩壊のような巨大な災害の全体像を一挙にとらえることは難しい。災害の各部分を総合して全体像をとらえることになる。

また、全貌を把握するためには遠景が多用されるし、二次災害や災害の拡大、施設の損傷程度の把握という目的に対しては所要所で細部の拡大撮影が必要となる。こうした相反する情報を同時に収集することは、撮影カメラのズーム機能だけでカバーできない場合があるし、航続時間の制約もある。したがって、御岳崩壊のような巨大災害に対しては、あらかじめ、撮影目的により時間をかけて飛行することが必要と考えられる。災害の情報内容としては次の 2 つに分けられる。

① 災害の規模・範囲など実態をとらえる撮影

② 災害の拡大予測など変動要因をとらえる撮影

実態をとらえる場合、緊急を要する場面を除き、周辺からの撮影を中心とし、また、垂直光軸をもつモニタビデオカメラを活用して、参考図の定義に従う縦横断飛行を行うと規模・形態の把握が容易となる。特に、今後地形センサが導入されれば、リアルタイムで縦横断形、深さ、勾配などの重要な情報が得られることになる。

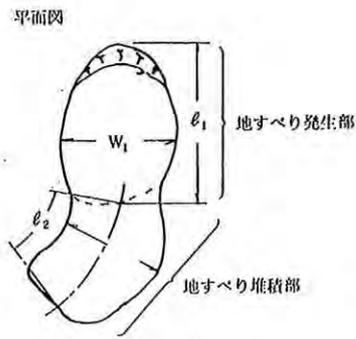
変動要因をとらえる撮影では、周辺部も含めた災害地全域が対象となる。変動要因の発生箇所がわかっていない段階では、横断ないしは縦断方向など、一定の飛行方向を保ち、走査する飛行方法をとるべきであろう。また、拡大撮影やステレオ撮影などで解読目的の映像を収集することが前提となるので、現場に合わせ、規準となる縮尺 (f/H) を定め、これに応じた、飛行速度、撮影高度等の飛行方法を採用することになる。このような、撮影・飛行方法を災害規模に応じて規準化しておくことも考えられる (図-1.3)。

b) 天然ダム

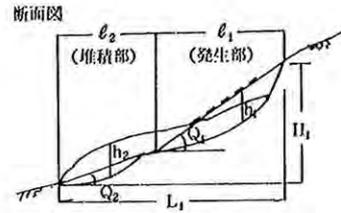
天然ダムは、二次災害を伴う危険性が高い災害であり、応急対策や住民の避難など、緊急な処置が必要とされる。このため、ダム湖の水位上昇による氾濫や、越流・パイピングなどの決壊要因をすばやくとらえ、情報化し、対策本部に提供しなければならない。

したがって、天然ダムの撮影では、変動要因をとらえる飛行方法が中心となる。また、災害の拡大に関する時期的な予測も含まれており、時系列的な撮影・飛行が必要となる。

天然ダムに限らないが、緊急性を要する場合、計測技術による情報加工にかかわる時間的余裕は少ないと考えられるため、人工工作物の大きさとの比較対象や、道路や土地利用界の水没・埋没箇所及び決壊箇所の位置判定などによって、すばやく映像を情報化することが必要となる。この場合、経験・知識の豊富な視察



- W_1 地すべりの発生したブロックの最大幅
- W_2 移動した土塊の堆積域の最大幅
- l_1 地すべりの発生したブロックの最大水平距離
- l_2 移動した土塊の堆積域の最大水平距離



事例調査における l_1 , l_2 , W_1 , W_2 の定義

図一1.3 長大斜面崩壊・地すべり調査における規模の把握

者が解説を行い、できるだけ大縮尺のマップデータを補助材料として用いられることも必要と考えられる。

3. 簡易レーザ測距計によるヘリコプターからの天然ダム調査シミュレーション結果

1 はじめに

地震によって形成された天然ダムの大きさ等は、その後の緊急対応を決めるための極めて重要な情報であるが、従来は災害発生直後のヘリコプターからの調査では、周囲の地物をスケールとした目視判読に頼らざるを得なかった。

そこで、ここでは、ヘリコプターの上から、簡易レーザ測距計によって天然ダムの諸元を計測可能かどうか、実際にシミュレーションを行い、検証した。

2 実験方法

シミュレーション計測は、平成16年10月の中越地震で形成された新潟県芋川流域の東竹沢の天然ダムを対象とした。使用したヘリコプターは北陸地方整備局の「ほくりく」号(写真.1)である。簡易レーザ測距計としては、米国レーザテクノロジー社製の「トゥルーパルス360」(写真.2)を用いた。また、「トゥルーパルス360」の概要を表1に示す。

表.1 トゥルーパルス 360 概要

製品名	トゥルーパルス360 (レーザテクノロジー社: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)	



写真.1 ほくりく号



写真.2 トゥルーパルス 360



写真.3 天然ダム(東竹沢)

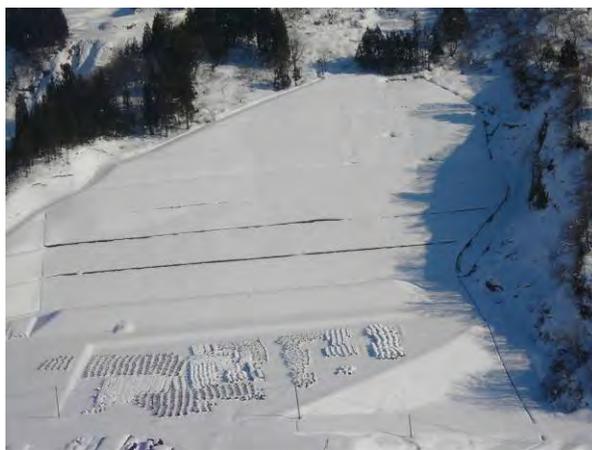


写真.4 崩壊斜面(東竹沢)

計測箇所としては、天然ダムの堤体をイメージした①東竹沢一号、二号えん堤(写真.3)、崩壊地をイメージした②東竹沢地区崩壊法面対策工(写真.4)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。また、三脚の設置状況ならびにフリーハンドでの計測状況を写真5,6に記す。

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

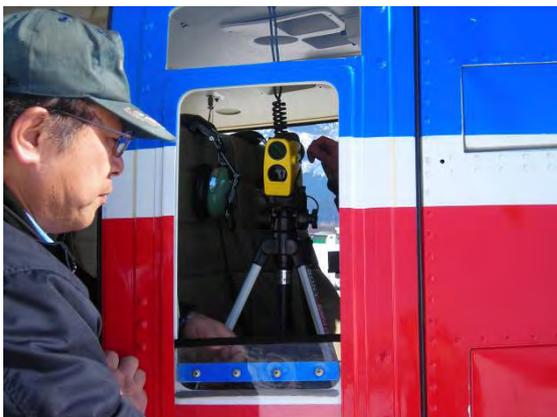


写真.5 三脚の設置状況



写真.6 フリーハンドでの計測

3 実験結果

今回の計測結果を表3に示すとともに、実験結果の概要を以下に記す。

表.3 計測結果

		遠(700~800m)		近(300~400m)		実測の数値
		手持ち	三脚	手持ち	三脚	
計測箇所① (天候ゲム)	高さ(m)	-	-	25	22	18.7
	観測距離(m)	-	-	28	28	23.3
	下照法角度	-	-	25/91 (16.11°)	22/81 (15.96°)	18.7/85 (13.53°)
計測箇所② (麻原)	斜距長(m)	191	189	198	175	169
	幅(m)	163	197	224	144	170
	方位	81/174 (28.80°)	60/178 (20.34°)	33/196 (9.74°)	50/175 (16.84°)	55/160 (20.52°)

-:計測不能

3.1 窓を閉めた計測

窓を閉めた状態では、まったく計測を実施することができなかった。ただ、機体から真下に向けて計測した場合にのみ計測が可能であった(約

250m程度の距離)。ヘリの風防ガラス(ポリカーボネート)の屈折率が大きいことなどが原因と考えられる。

3.2 計測所要時間

現場への移動時間(20分)を除いて、現場で、計測を行った時間は、13:30~14:10の約40分であった。シミュレーションは、各計測箇所上で上記の6通りを行う予定であったが、実際には窓を閉めた状態での計測が不可能だったため、4通りしか行えなかった。したがって、計測箇所1箇所当たりの所要時間は、約5分である。この5分の間に、4点の計測をそれぞれ実施した。

3.3 計測環境

フリーハンドでも三脚を用いても、手ぶれがひどく、計測が難しい。計測自体は大変簡単で、1点の計測に要する時間は本来であれば、数十秒に過ぎないが、手ぶれのためにしばしば計測エラーに陥り、時間を要することとなった。

700~800m先になると、砂防えん堤の袖全体(概ね15m×15mの大きさ)でさえ、振動のためターゲット内に収めることは困難であった。

3.4 計測精度

感覚的には三脚を用いた方が、振動の振幅は著しく、振動数も高くなり、フリーハンドでの計測に比べてより計測が困難であるように感じたが、計測データを見る限り、フリーハンドの場合とそれほど精度の点で劣ってはいない。結論的には、どちらも結果としてはほぼ同様の結果であった。

三脚は、2脚を機体の床に置き、1脚をシートにおくことによって据えた。床に置いた2脚から機体の振動がダイレクトに伝わってしまったようである。

一方、フリーハンドの場合には、機体の振動は相当に吸収させることができたが、計測ボタンを押す際に計測器が傾くなどの影響が出たものと考えられる。プロフェッショナルのカメラマンであれば相当に手ぶれを軽減できる可能性もある。また、一脚を観測者の大腿部に押しつけるようにして計測したり、計測ボタンにリリースを取り付けるなどの努力をすることによって相当に精度を上げることが可能になるであろう。

3.5 計測誤差

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。

崩壊地の計測においては、崩壊斜面長の計測に比べて、崩壊斜面幅の計測精度が著しく悪い。これは、使用した測距計の水平角計測精度が垂直角計測精度の4倍悪いことが原因の一つと考えられる。

3.6 観測者と計測方向

計測箇所①においては、当初、えん堤脇の雪面をターゲットにして計測を試みたが、計測できなかったため、砂防えん堤本体を計測ターゲットとした。また、前述のとおり、窓を閉めた状態であっても真下を狙うと、距離によっては計測することができた。以上より、計測方向は、なるべく観測対象斜面に垂直となるように留意すべきと考えられる。したがって、今回は、砂防えん堤本体前のをターゲットとすることで計測を行う

ことができたが、実際に緩やかな天然ダム下流法面を計測する場合には、天然ダムのほぼ直上にヘリをホバリングさせて計測すると精度よく観測が可能となるものと思われる。

3.7 その他

今回は、晴天に恵まれ、また、調査対象エリアが完全に積雪に覆われていたことから、レーザー光が減衰せず、かつ、反射も強く、レーザー計測には理想的な状況であった。靄のかかっている気象条件下、または、暗色系の土色を持つ崩壊土について今回程度に遠距離から計測が可能かどうかについては今後検討の余地がある。

開閉可能な窓の幅は約23cmと小さかった。距離計測をする際に邪魔となるので、この目的のためにはもっと広い窓が良い。

撮影した計測対象（天然ダム、崩壊など）の写真に、その場で、幅、長さなどを記入できるようにしておくとう便利である。

一人が観測をし、もう一人が記帳する、等の体制を組めば、より迅速に計測が可能である。

4. 決壊や上流部の浸水被害発生までの時間の推定方法

～湛水位のみを用いた、決壊や上流部の浸水被害発生までの時間の推定～

閉塞部の越流や上流部の浸水までの時間を予測するためには、湛水部の水位上昇速度を把握する必要がある。水位上昇速度は湛水位と上流からの流入流量によって規定されるため、流入流量の把握・監視は最も重要な事項となる。

流入流量や流出流量はそれぞれ流量観測（4.3・4.4）で計測した値を用いることが望ましいが、流量観測が困難な場合には次の方法により、越流開始（満水になる）や上流部の浸水被害発生までの時間を算出することができる。

$$\text{越流までの時間(s)} = \text{満水までの容量(m}^3\text{)} / (\text{流入流量(m}^3\text{/s)}^{※1})$$

$$\text{浸水までの時間(s)} = \text{浸水までの容量(m}^3\text{)} / (\text{流入流量(m}^3\text{/s)}^{※1})$$

※1：H-V 曲線と湛水部の水位観測（4.2）による流入流量

【満水までの容量の算出方法】

湛水部の満水までの容量は、航空レーザ測量等をもとに作成した地形図を利用することが望まれるが、この場合早期に図面の作成が必要である。レーザ測量に時間を要する場合には、既存の地形図を利用して満水までの容量を求めることができる。精度が悪くなることを念頭に置く必要があるが、時間的には前者よりも早く成果を得られる。地形図の縮尺としては、精度のあるなるべく大縮尺のものが望ましい。

$$V1 < \text{満水までの容量 (m}^3\text{)} > = (h1-h2) (A1+A2) / 2 + (h2-h3) (A2+A3) / 2$$

$$V2 < \text{浸水までの容量 (m}^3\text{)} > = (h2-h3) (A2+A3) / 2$$

- ・ h3 は水位観測（4.2）による計測値（m）
- ・ A1～A3 は地形図より求めた面積（m²）

*断面法では、なるべく細かく断面（面積）に分けることが望ましい。

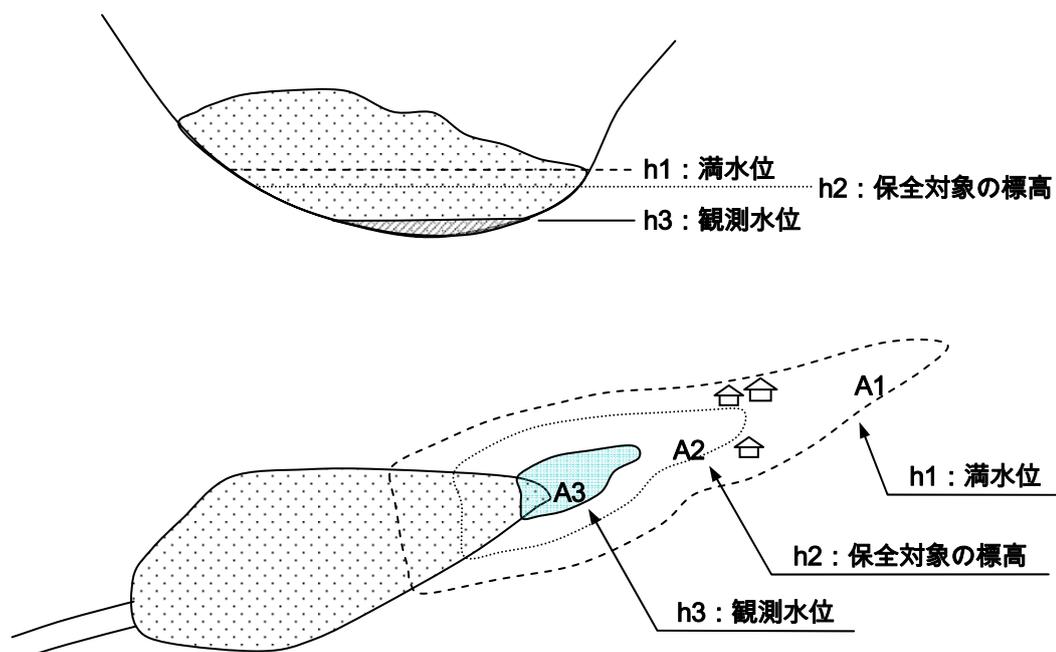
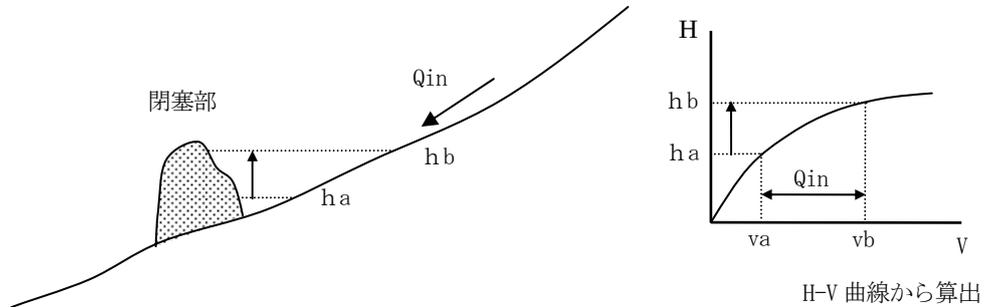


図 満水および浸水までの容量算出方法の例

【流入流量の算出方法】

地形図と閉塞部の形状、高さから断面法などにより標高別の湛水量を算出し、H(湛水位)－V(湛水量)曲線を作成する。H-V 曲線と湛水部の水位観測（4.2 参照）から流入流量を算出でき、満水までの時間も推定できる。ただし、この方法では閉塞部からの流出流量や漏水量などは考慮されていないことや地形図の精度に依存するため、流入流量の値については、概略値であることを留意しておく必要がある。また、流入部に支川が複数ある場合でも、個々の河川における流入流量は求められない。



2 回の水位観測時刻 $t_a \rightarrow t_b$ (s) の間に、湛水位が $h_a \rightarrow h_b$ (m) に上昇したとすると、流入流量 Q_{in} (m^3/s) は H-V 曲線から次のとおりである。

$$Q_{in} = (v_b - v_a) / (t_b - t_a)$$

図 H-V 曲線から流入流量の算出

【越流及び浸水までの時間の算出方法】

上記で求めた満水までの容量と流入流量を用いて、次の通り満水までの時間及び浸水までの時間を算出する。

$$t_1 < \text{越流までの時間 (s)} > = V_1 / Q_{in}$$

$$t_2 < \text{浸水までの時間 (s)} > = V_2 / Q_{in}$$

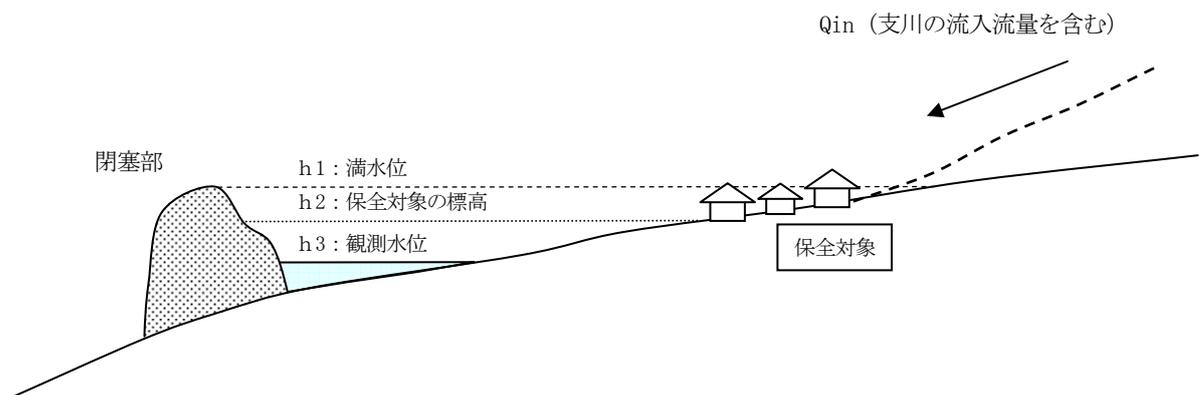


図 閉塞部の越流や上流部の浸水までの時間の算出方法の例

～湛水位と流入流量・流出流量を用いた、決壊や上流部の浸水被害発生までの時間の推定～

閉塞部の越流や上流部の浸水までの時間を予測するためには、湛水部の水位上昇速度を把握する必要がある。水位上昇速度は湛水位と上流からの流入流量によって規定されるため、流入流量の把握・監視は最も重要な事項となる。

越流開始（満水になる）や上流部の浸水被害発生までの時間を予測するには次のように算出することができる。

$$\text{越流までの時間(s)} = \text{満水までの容量(m}^3\text{)} / (\text{流入流量(m}^3\text{/s)} - \text{流出流量(m}^3\text{/s)})$$

$$\text{浸水までの時間(s)} = \text{浸水までの容量(m}^3\text{)} / (\text{流入流量(m}^3\text{/s)} - \text{流出流量(m}^3\text{/s)})$$

ここで、湛水部の満水までの容量は、航空レーザ測量等をもとに作成した地形図を利用することが望まれるが、この場合早期に図面の作成が必要である。レーザ測量に時間を要する場合には、既存の地形図を利用して満水までの容量を求めることができる。精度が悪くなることを念頭に置く必要があるが、時間的には前者よりも早く成果を得られる。地形図の縮尺としては、精度のあるなるべく大縮尺のものが望ましい。

流入流量や流出流量はそれぞれ流量観測（4.3・4.5）で計測した値を用いることとする。

【算出方法】

$$V1 < \text{満水までの容量 (m}^3\text{)} > = (h1-h2) (A1+A2) / 2 + (h2-h3) (A2+A3) / 2$$

$$V2 < \text{浸水までの容量 (m}^3\text{)} > = (h2-h3) (A2+A3) / 2$$

- ・ h1 は水位観測（4.2）による計測値（m）
- ・ A1～A3 は地形図より求めた面積（m²）

*断面法では、なるべく細かく断面（面積）に分けることが望ましい。

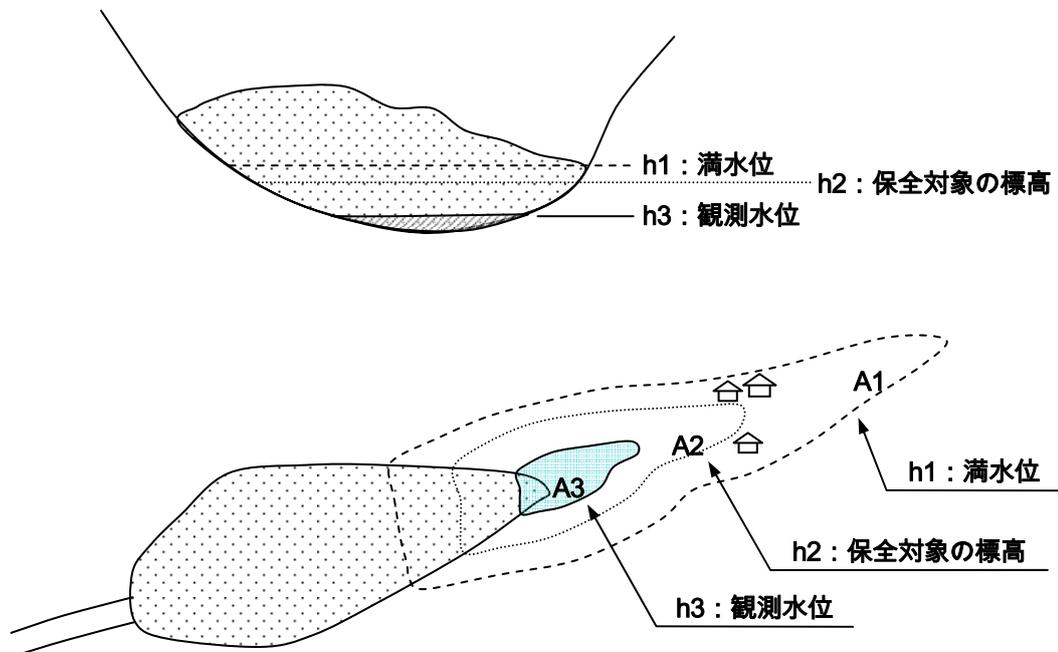


図 満水および浸水までの容量算出方法の例

$$t1 < \text{越流までの時間 (s)} > = V1 / \{ (Q_{in} + q_{in \text{ 支川 1}} + \dots) - Q_{out} \}$$

$$V2 < \text{浸水までの時間 (s)} > = V2 / \{ (Q_{in} + q_{in \text{ 支川 1}} + \dots) - Q_{out} \}$$

- ・ Q_{in} (m^3/s) および $q_{in \text{ 支川 1}}$ (m^3/s) は流量観測 (4.3) による計測値 (ただし、支川が複数ある場合は全ての河川の流入流量を足し合わせる)
- ・ Q_{out} (m^3/s) は流量観測 (4.5) による計測値

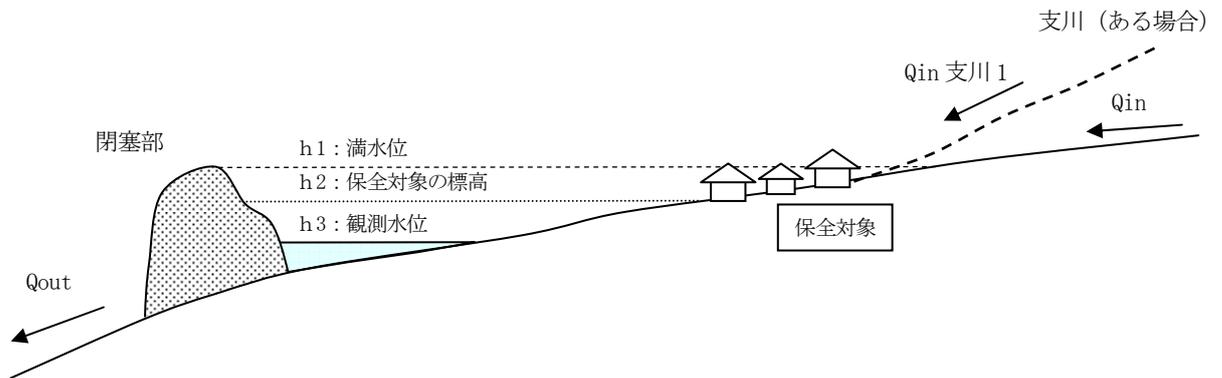


図 閉塞部の越流や上流部の浸水までの時間の算出方法の例

5. 越流による天然ダム決壊時のピーク流量推定手法

越流による天然ダム決壊時のピーク流量は、下流になるにつれ減衰する（里深ほか，2007a）。また、天然ダムの形状により、決壊ピーク流量の差異が生じることもシミュレーション計算により確かめられている（里深ほか，2007b）。これらを考慮したピーク流量算定手法の例を以下に挙げる。

ただし、天然ダム形成後、直ちに天然ダム直下の概略ピーク流量を算出する必要がある場合には、後述する3つの概算式を用いることも有効である。

～下流へのピーク流量の減衰を考慮した天然ダム決壊時のピーク流量算定手法～

高濱ほか（2000）で提案している、土石流から掃流状集合流動への遷移過程を解析する二層流モデルをもとに、里深ほか（2007a）では、天然ダムの決壊に伴う洪水解析を行っている。例えば、徳島県那賀川流域高磯山の崩壊による天然ダムの決壊時の洪水に適用した結果では、図1に示すとおり、天然ダム形成地点より約42km下流の細野におけるピーク流量は、天然ダム直下（約5km）に位置する小浜のピーク流量の約1/3程度になっており、下流の地点ほどピーク流量が減衰しているのが認められる。

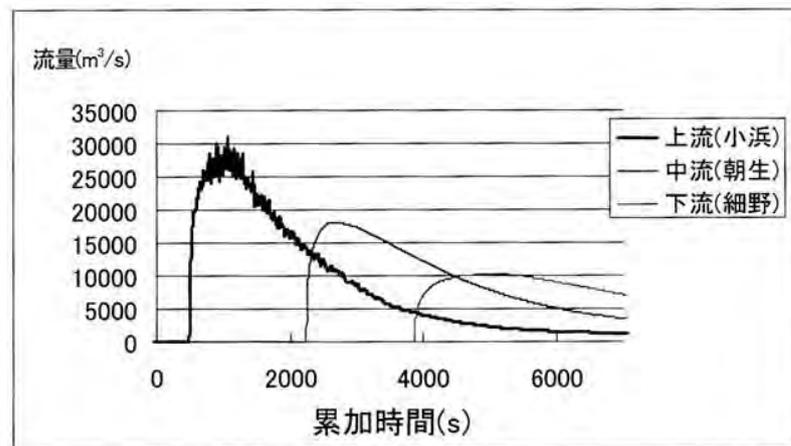


図1 流量の時間変化（里深ほか，2007aより引用）

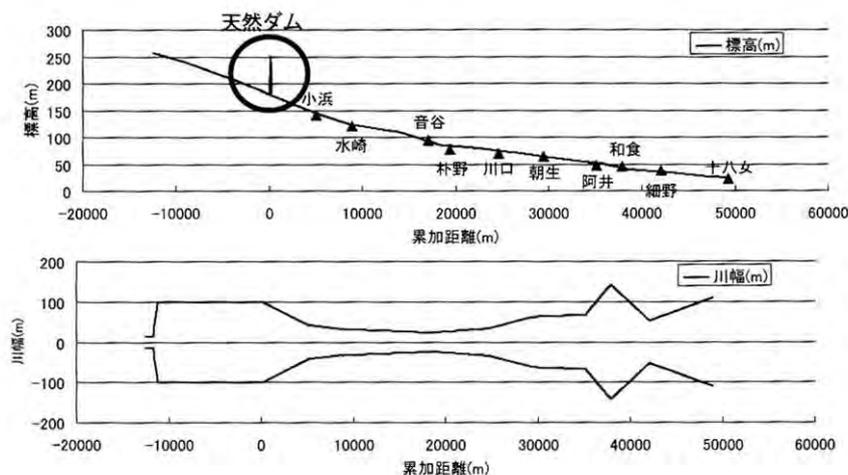


図2 計算河道の縦断状況と川幅（里深ほか，2007aより引用）

また、側岸侵食や天然ダムの形状を考慮した例として、里深ほか（2007b）では、新潟県中越地震で発生した芋川流域の天然ダムをモデルとして、決壊に伴う洪水ハイドログラフを計算している。この結果によると、形状以外の諸元がほぼ等しい天然ダムにおいて、三角形形状（図3の天然ダムC）の下流のピーク流量が、台形形状（図3の天然ダムA）のピーク流量より5倍以上大きくなること（図3）、下流の川幅が狭い地点では側岸侵食幅が大きくなっていること（図4）などが確かめられており、決壊時のピーク流量を計算する場合にはこれらを考慮しておく必要があると考えられる。

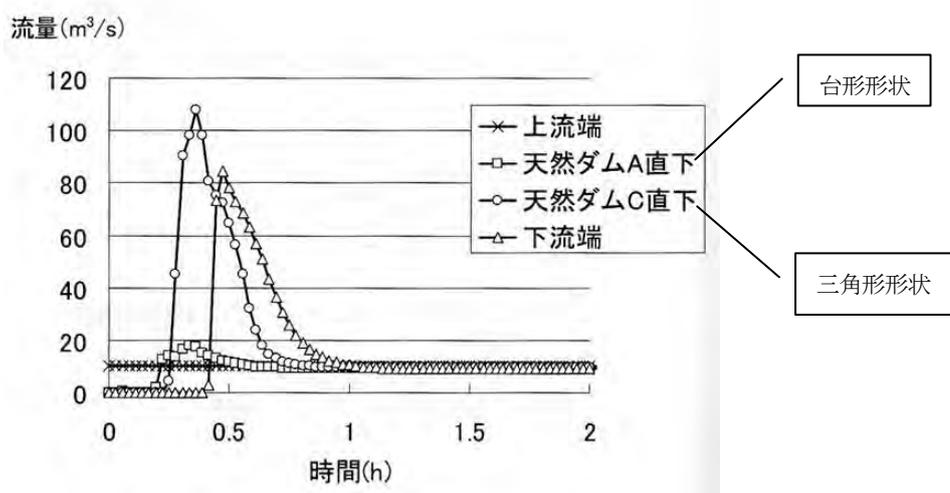


図3 天然ダム下流のハイドログラフ（里深ほか，2007b より引用）

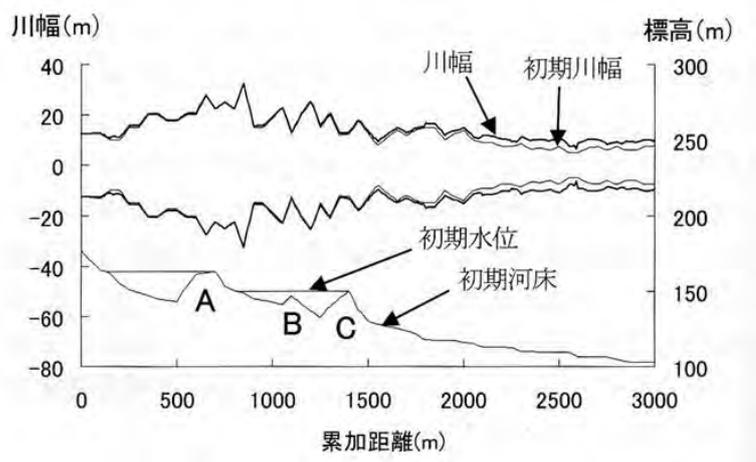


図4 川幅の変化（里深ほか，2007b より引用）

なお、これらのモデルの詳細については、里深ほか（2007a）および里深ほか（2007b）を参照されたい。

～参考文献～

里深好文・吉野弘裕・小川紀一郎・森俊勇・水山高久・高濱淳一郎（2007a）：高磯山天然ダム決壊時に発生した洪水の再現，砂防学会誌，Vol. 59，No. 6，p. 32-37.

里深好文・吉野弘裕・小川紀一郎・水山高久（2007b）：天然ダム決壊時のピーク流量推定に関する一考察，砂防学会誌，Vol. 59，No. 6，p. 55-59.

高濱淳一郎・藤田裕一郎・近藤康弘（2000）：土石流から掃流状集合流動への遷移する流れの解析法に関する研究，水工学論文集，第44巻，p. 683-686

～越流による天然ダム決壊時の天然ダム直下のピーク流量算定概算式～

① Costa (1988) によるピーク流量算定式

$$Q=181 \times (V \times h / 10^6)^{0.43}$$

ここに、Q : 天然ダム決壊に伴うピーク流量(m³/s)

V : 天然ダムによる貯水容量(m³)

h : 天然ダムの高さ(m)

② 田畑ほかによるピーク流量算定式

$$\frac{q}{q_{in}} = 0.542 \times \left[\frac{(gh^3)^{0.5}}{\tan\theta \times q_{in} \times 1,000} \right]^{0.565}$$

ここに、q : 天然ダム決壊に伴う単位幅当たりのピーク流量 (m²/s)

q_{in} : 天然ダム地点への単位幅当たりの流入量 (m²/s)

g : 重力加速度 (9.8m/s²)

h : 天然ダムの堤高(m)

θ : 河床勾配(°)

(「田畑・水山・井上 : 天然ダムと災害, p.161」より)

③ 石川ほかによるピーク流量算定式

●粒径による関係式

$$Q=0.512 \times (S \times h / 10^4)^{0.347} \times B \text{ (平均粒径 } 0.25\text{mm の場合)}$$

$$Q=0.290 \times (S \times h / 10^4)^{0.384} \times B \text{ (平均粒径 } 2.50\text{mm の場合)}$$

●単位幅流入量による関係式

$$Q=0.194 \times (S \times h / 10^4)^{0.485} \times B \text{ (天然ダム地点への単位幅流入量が } 0.1\text{m}^2/\text{s の場合)}$$

$$Q=0.780 \times (S \times h / 10^4)^{0.326} \times B \text{ (天然ダム地点への単位幅流入量が } 1.0\text{m}^2/\text{s の場合)}$$

ここに、Q : 天然ダム決壊に伴うピーク流量(m³/s)

S : 天然ダムによる貯水量(m³)

h : 天然ダムの高さ(m)

B : 天然ダムの幅(m)

(「石川ほか (1991) : 土木研究所資料, pp57」より)

6. 上流域からの流入流量予測手法

(1) 既存の流出予測手法の活用

天然ダムへの流入流量の予測を行う当該流域または周辺の類似流域において、ダム開発調査等が実施されて流出予測モデルがすでにある場合には、天然ダム上流域の予測降雨量を把握することにより流入流量を推定することができる。

(2) 当該流域または周辺の類似流域において河川流量データがある場合

既存の流出予測手法が無い場合には、「建設省河川砂防技術基準（案）調査編」等に紹介されている、タンクモデル法、等価粗度法、貯留関数法等の一般的な流出計算手法をはじめ、学会等で提案されている手法の中から適当な手法を選び、その手法により流量を計算する。これらの手法では、複数のパラメータを決定しなければならない。パラメータの決定に当たっては、既存の降水量データと河川流量データが必要で、それらのデータに基づいて適当なパラメータを同定する必要がある。参考まで、次ページ以降に、信濃川水系芋川流域において、陸ら（1998）のモデルを適用した結果を示す。なお、モデルの詳細については伊藤ら（2006）を参照されたい。

(3) 当該河川または周辺河川で参考となる流量データが無い場合

(1) で述べたような手法も無く、当該河川または周辺河川で参考となる流量データが無い場合には、合理式と単位図法を合成した手法（防災調節池等技術基準（案））がある。

～参考文献～

- 陸旻皎・小池俊雄・早川典生（1989）：分布型水文情報に対応する流出モデルの開発，土木学会論文集，第411号，pp.135-142.
- 伊藤禎将・山越隆雄・栗原淳一・寺田秀樹・宮島邦康・幸弘美・見上哲章（2006）：芋川流域における分布型モデルを用いた融雪量シミュレーションについて，砂防学会研究発表会概要集，pp.380-381.
- 防災調節池等技術基準（案）解説と設計実例（1988）：社団法人日本河川協会，p.13-14

空間分布型流出モデルの適用事例 1

～平成 18 年度大規模地震に起因する土石流の発生予測手法に関する検討業務 報告書 平成 19 年 2 月
独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム より抜粋、一部改～

再現計算対象：夏季の豪雨に伴う出水

適用対象流域：信濃川水系魚野川右支川芋川流域（38 km²）

適用モデル：陸らの洪水流出モデル

雨量データ：地上雨量データ

パラメータ：下記のとおり

地形メッシュ：50mメッシュ

入力データ：時間雨量

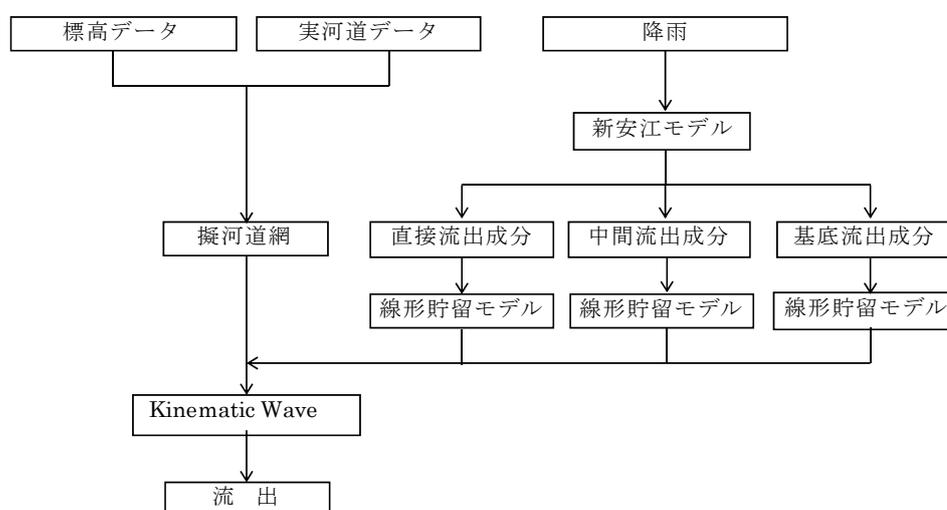


図 陸らの洪水流出モデルのフローチャート

表 設定したパラメータの一覧

モデル パラメータ	内容	陸らの パラメータ	本モデルのパラメータ
<i>B</i>	土壌水分量の分布曲線を表す勾配	0.2	0.2 (陸らのパラメータと同じ)
<i>Imp</i>	不浸透域の面積率	記載なし	0.1
<i>WMM</i>	各メッシュの最大貯水能力	記載なし	160mm b, imp, WMから逆算した。式 (2.6) 参照
<i>WM</i>	各メッシュの貯水能力	120mm	120mm (陸らのパラメータと同じ)
<i>W</i>	初期土壌水分量	記載なし	初期流量と概ね一致するよう初期土壌水分量を調節した。
<i>Cs</i>	表面流出減衰係数	0.3	0.3 (陸らのパラメータと同じ)
<i>Cg</i>	中間流出減衰係数	記載なし	0.953 (既往の研究成果を用いた※)
<i>Cb</i>	基底流出減衰係数	0.995	0.995 (陸らのパラメータと同じ)
<i>Fc</i>	最終浸透能	40mm/day	40mm/day (陸らのパラメータと同じ)
<i>N</i>	等価粗度係数	記載なし	水理公式集の適用範囲内で設定 (表2.4参照)

モデルの再現結果：

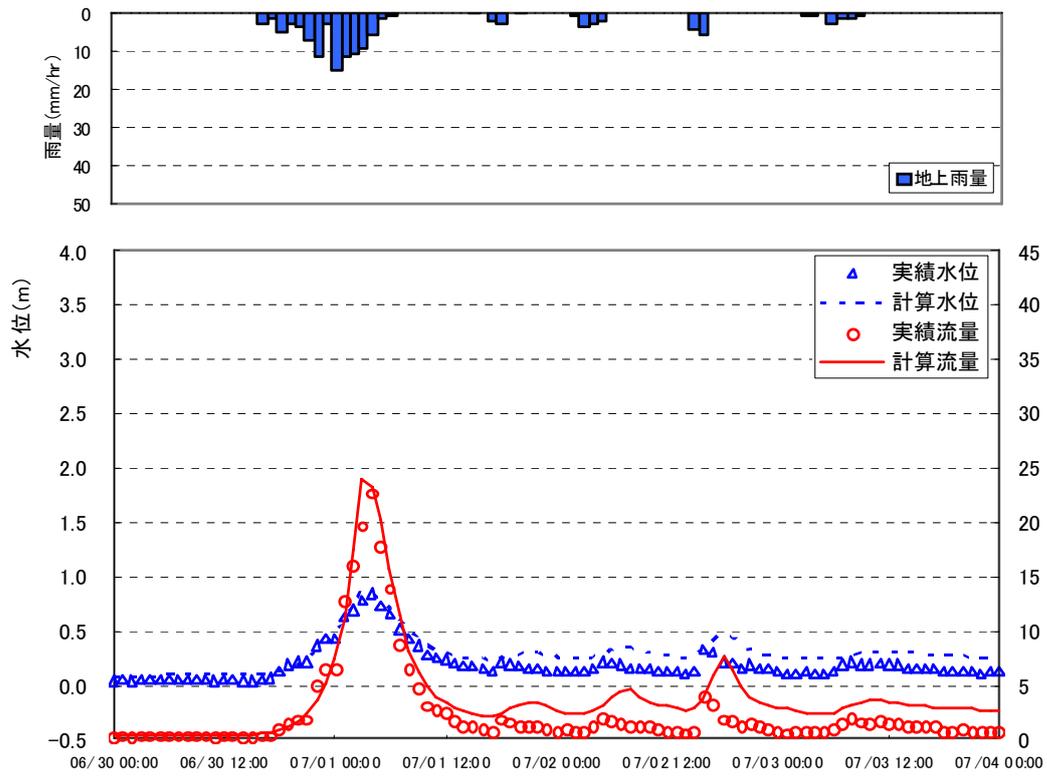


図 分布型再現計算結果 (地上雨量)

空間分布型流出モデルの適用事例 2

～伊藤ほか（2006）より抜粋、一部改～

再現計算対象：融雪期の豪雨に伴う出水

適用対象流域：信濃川水系魚野川右支川芋川流域（38 km²）

適用モデル：陸らの洪水流出モデル+栗原らの融雪モデル

雨量データ：地上雨量データ

パラメータ：下記のとおり

地形メッシュ：50mメッシュ

入力データ：時間雨量、天気（日射量）、最高・最低気温

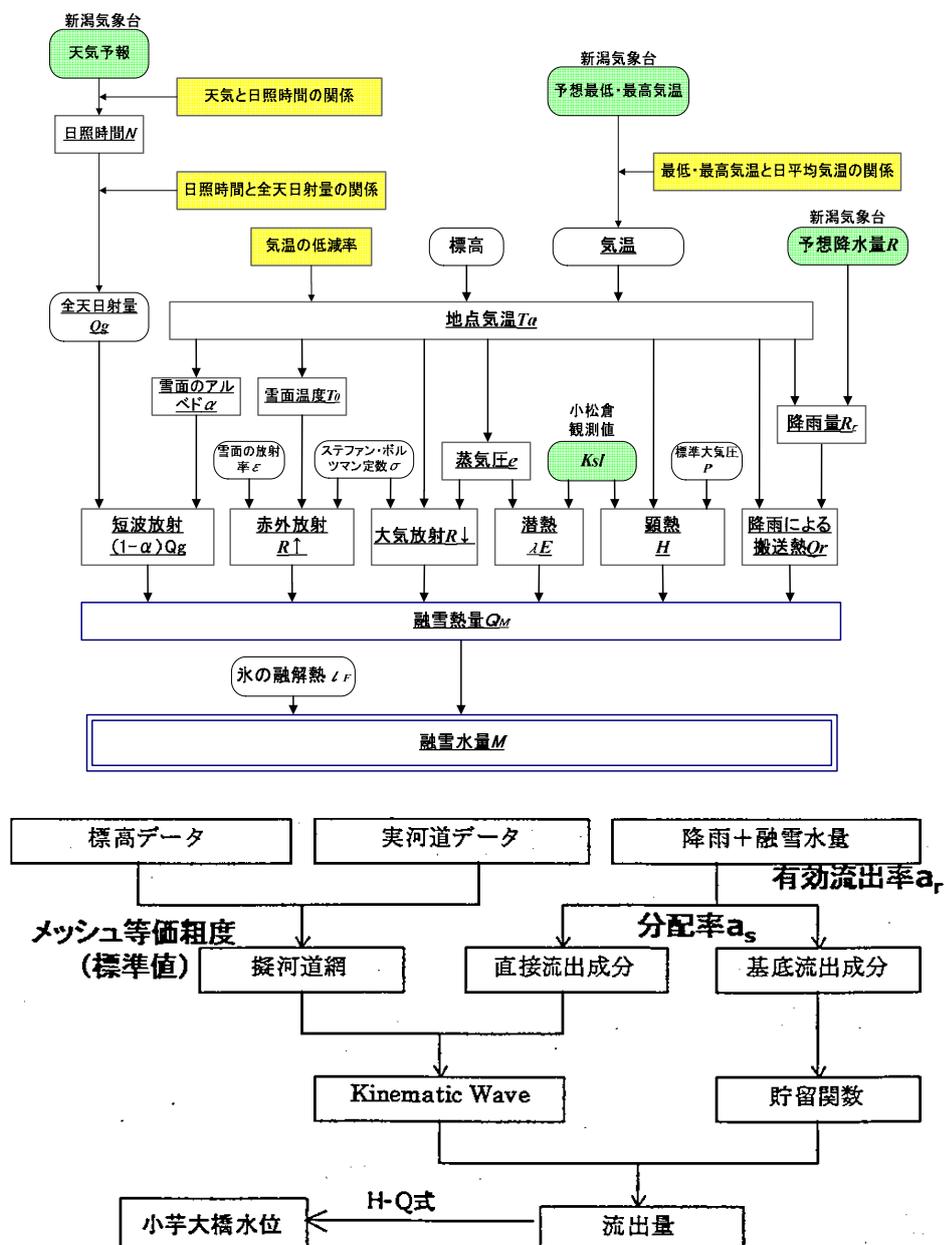


図 栗原らの融雪モデル（上段）と陸らの洪水流出モデル（Ar-Asモデル；下段）のフローチャート

表 設定したパラメータの一覧

モデル パラメータ	内容	数値	備考
Ksl	潜熱と顕熱の計算に必要な地形特性を反映した係数	1.2	水津(2001)より新潟県津南町での事例
As	直接流出および基底流出成分の配分率	0.9	試行錯誤で設定
Ar	有効流出率	0.8	試行錯誤で設定
N	等価粗度	-	水理公式集の適用範囲内で設定

モデルの再現結果：

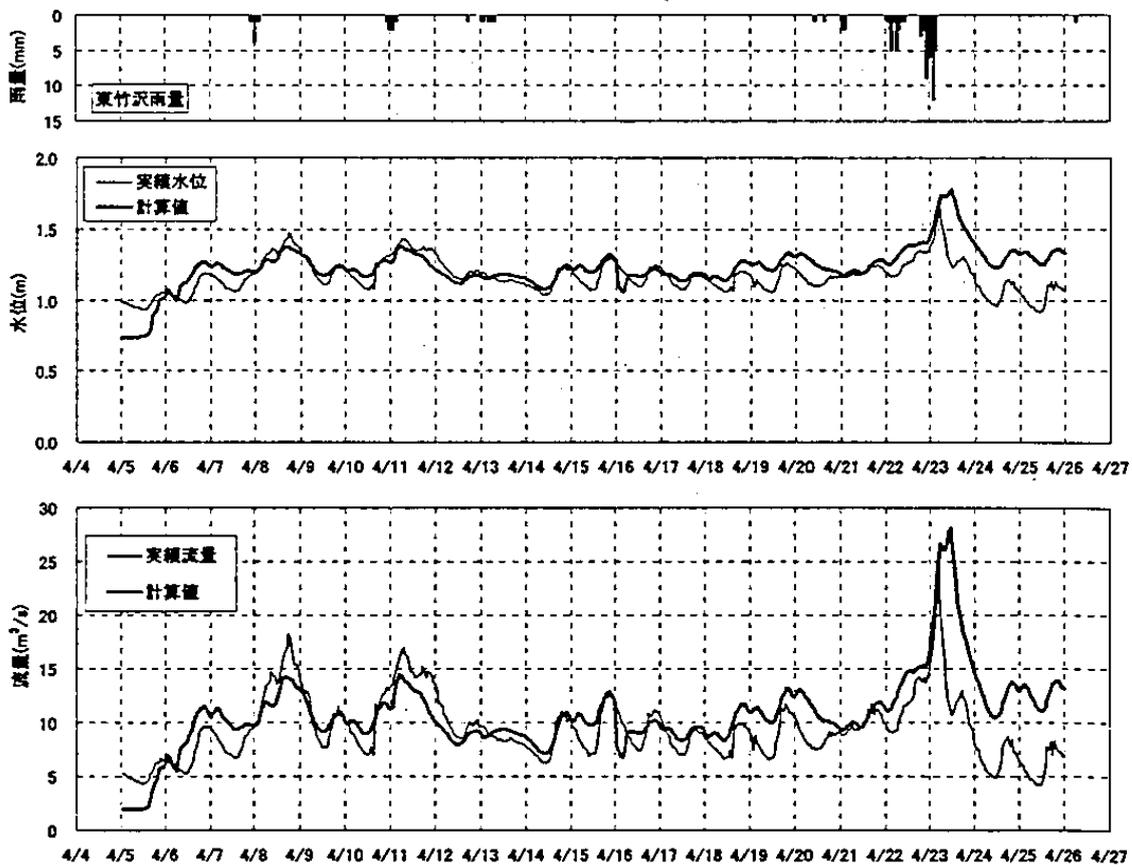


図 流出計算結果（小芋大橋地点）

7. 地上測量機器の性能比較表

計測機器			特 性		堤体への 立入要否	機器の性能 (公称値一般) ※1		重量	作業面等からみた一般的な適応 可能距離※2	電源	不可視域への 対応
						適応距離	精度				
			長 所	短 所							
①	トータルステーション (TS)	ノンプリ ズム型	<ul style="list-style-type: none"> ■遠隔地からの計測が可能。 ■TS(プリズム型)には劣るが、高精度かつ長距離で計測できる。 ■手動計測だが、1点当たりの計測時間はプリズム型と同程度である。 	<ul style="list-style-type: none"> ■レーザー入射角が浅い場合や標的が暗色系の場合、レーザー反射率が低下し、計測困難になる。 ■侵食量算定は別途、計算が必要。 	○ 不要	1.5~250m (ターゲットなし、白色物測定時)	±(5+2ppm・D)mm	本体 5~6kg 三脚 kg	1.5~200m	着脱式バッテリー	計測不可
②	簡易レーザー	デジタル コンパス	<ul style="list-style-type: none"> ■遠隔地からの計測が可能。 ■斜距離、水平角、高度角の計測が可能。 ■携帯性に優れる。 ■1点当たりの計測時間は数十秒程度。 	<ul style="list-style-type: none"> ■中精度である。 ■レーザー入射角が浅い場合や標的が暗色系の場合、レーザー反射率が低下し、計測困難になる。 ■侵食量算定は別途、計算が必要。 	○ 不要	1.0~200m (白色・灰色対象)	50m — 3cm 150m — 5cm (A社製の場合)	本体 1.6 kg 支柱 0.4 kg	1.0~130m (A社製の場合)	乾電池	計測不可
③		距離計	<ul style="list-style-type: none"> ■遠隔地からの計測が可能。 ■斜距離計測を速やかにできる。 ■携帯性に非常に優れる。 	<ul style="list-style-type: none"> ■低精度である。 ■レーザー入射角が浅い場合や標的が暗色系の場合、レーザー反射率が低下し、計測困難になる。 ■侵食量算定は別途、計算が必要。 ■計測値の自動記録ができない。 	○ 不要	1.0~1,000m	0.5m単位@100m未満 1.0m単位@100m以上 (B社製の場合)	本体 0.2~0.4kg	1.0~150m (B社製の場合)	乾電池	計測不可
④	3Dレーザーキャッチャー	地上	<ul style="list-style-type: none"> ■遠隔地からの計測が可能。 ■面的な計測が可能。 ■観測対象物を3次元で捉えることができる。 ■長距離かつ高精度に計測できる。 ■計測自体は数十分で行える。 	<ul style="list-style-type: none"> ■レーザー入射角が浅い場合、データ取得が困難になる。 ■侵食量算定の解析処理に30分~数時間を要する。 ■計測機器が高価(約2000万円)。 	○ 不要	2~1000m (C社製) 300m (D社製) 1.5~350m (E社製)	<標準偏差> ±10mm(単発測定) ±5mm(平均化) (C社製) 距離4mm、座標6mm@50m (D社製) 6.5mm@200m (E社製)	本体 14~18kg 三脚 kg 発電機 kg パソコン 1.5kg	1.5~200m (E社製の場合)	発動発電機	計測不可

※1) 主としてコンクリート構造物等を対象としているため、天然ダム土塊では大きく劣る可能性がある。

※2) 異なる自然環境の中で、作業効率と測量精度等勘案して、一般的に使用する状況から判断した距離数値である。記載数値よりもっと条件が厳しくなることがある。

上記①~④の計測機器の計測条件別の適応性を以下に示す。

外部環境条件	計測の適応性	標的的条件	計測の適応性
夜間	投光器が必要。3Dの場合は投光器があるとよい。	水	レーザー光が乱反射する。
雨・雪	計測可能。	積雪	積雪により土砂面の計測が正確にできない。
大雨・霧	標的の視準が不可能。	水分を多く含んだ土	レーザー光が乱反射のおそれあり。
逆光	精度を確保できないおそれあり。	鏡のような岩盤が湿った場合	レーザー光が乱反射のおそれあり。
		暗色系の地盤	レーザー光の反射が劣る。

8. 投下型水位観測ブイ

(1) 概要

天然ダムによる湛水位監視の必要が生じた場合、従来は陸路で水位計や衛星通信装置を搬送して人力で施工していたため、道路が寸断されていると施工ができないことや施工中の二次災害が懸念されるなどの課題があった。

投下型水位観測ブイはそれら課題を解決するために土木研究所で開発されたものであり、ヘリコプターで迅速・安全に湛水位監視を開始することができる。

(2) 機器の特徴

① 利点

- ・迅速で安全な設置が可能

ヘリコプターから投下するだけで設置・運用が可能のため、地上道路の寸断に左右されることなく、かつ二次災害を受けない。

- ・安定した長期運用

内蔵バッテリーで3ヶ月程度の運用が可能であること、湛水部中央への設置が可能のため、土砂流入による機器破損の危険が少ないことなどにより、長期間安定した運用が可能となる。

- ・衛星携帯電話伝送システムを利用

低軌道周回衛星による伝送システムを利用するため、低消費電流、機器の小型化、アンテナ向き調整不要などの利点を有する。また、測定したデータはEメールで配信されて専用ソフトで作表等がされる。

- ・閉塞部の危険度評価に役立てることが可能

ヘリコプターでの設置時に、水面と閉塞土砂の天端との比高を目視で読み取っておくことにより、満水位と観測水位の差を得て、閉塞部の危険度評価要素とすることができる。

② 使用にあたっての留意事項

- ・ヘリコプター利用について

設置計画を立案又は実行する段階で、ヘリコプターの運航管理者に以下の事項を確認しておく必要がある。また、運航にあたっては航空局へのフライト計画提出・許可などが必要となるため、極力早めに協議しておくことが望ましい。

- * ヘリコプターは、物資の吊り下げ輸送に対応した小型タイプ（ワイヤー、電磁フックを装備したもの）であること。また、設置作業も2名程度同乗すること。
- * 投下型水位観測ブイの重量は約60kg程度であること（ヘリコプターの吊り下げ可能重量（数百kg）に比べてかなり軽量であるため、輸送中にブイが後方に靡かないように運航速度の調整が必要になる）。
- * 投下設置は、ブイが直立した状態で、かつ水面付近から行うこと。
- * 投下設置前に、位置を選定するために、狭隘な天然ダム一帯を巡航すること。

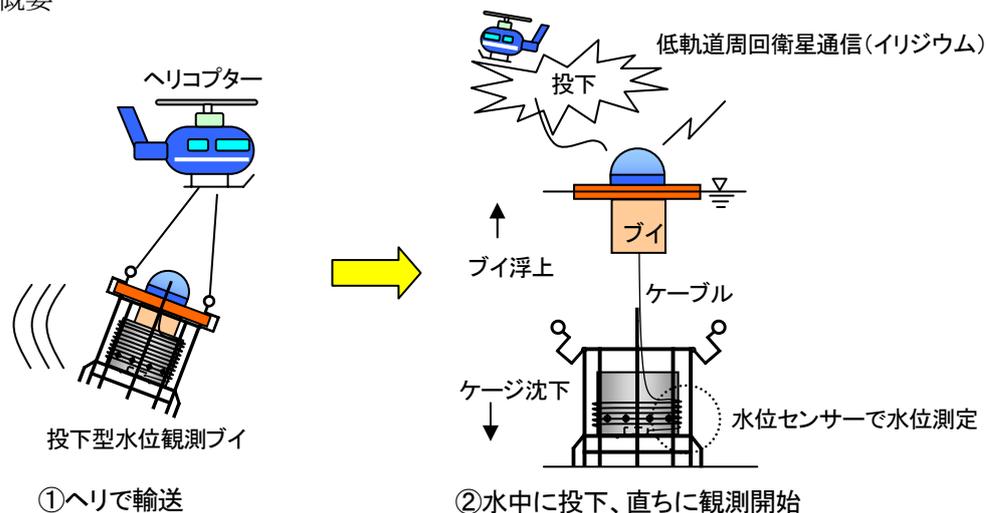
- ・余震による水位センサー位置のずれ

大地震により形成された天然ダム湛水部を監視する場合、余震によって水中のケージ部に取り付けられた水位センサー深度が変わり、得られる水位データにずれが生じる可能性がある。（但しこの問題は他の水位測定手法でも起こりうる）

- ・標高値への換算

設置した段階では、設置時の水位を基準として、観測水位との相対的な水位差が観測され、標高は不明である。このため、地上測量や航空レーザ測量等による水面や閉塞土砂の測量結果を用いるなどして、標高値への換算が必要となる。

(3) 機器の概要



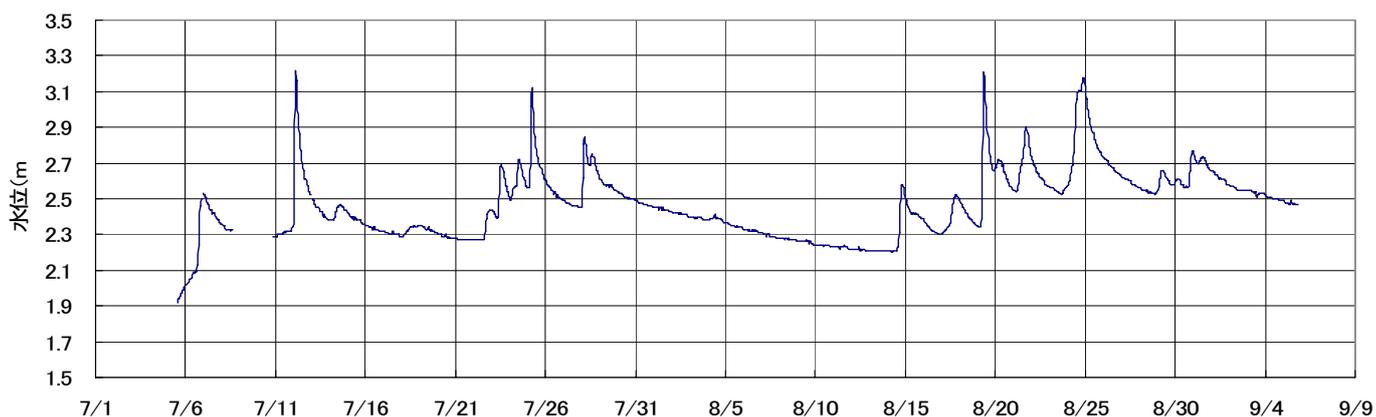
投下型水位観測ブイの概要図



※画像提供: 東北地方整備局

投下型水位観測ブイの設置手順

(平成20年岩手・宮城内陸地震で発生した迫川・湯浜地区の天然ダムへの設置事例)



投下型水位観測ブイにより得られる水位データの事例

9. 崩壊検知センサー

(1) 概要

崩壊検知センサーは、斜面変位情報をリアルタイム監視することを目的として土木研究所と民間会社の共同研究により開発された機器である。

変位によるセンサーの傾きを検知して無線伝送するものであり、閉塞部が侵食等により変位を生じることを監視することができる。

機器は、センサー、受信機、電源装置などで構成され、監視対象箇所に設置されるセンサーが傾きを検知すると同時に無線を発信し、受信器で受信する。無線の伝搬距離は直線見通し上で約 500～1km 程度であるが、地形や樹木による遮蔽によりその距離は低減するため、実設置前に無線伝搬試験を行う必要がある。

測定は、センサーを設置する点での測定となるため、これを多点的に配置することにより、閉塞部の変位が生じた位置及び発生時刻を検出し、別途伝送装置によりリアルタイムで遠方監視することが可能となる。

(2) 機器の特徴

①利点

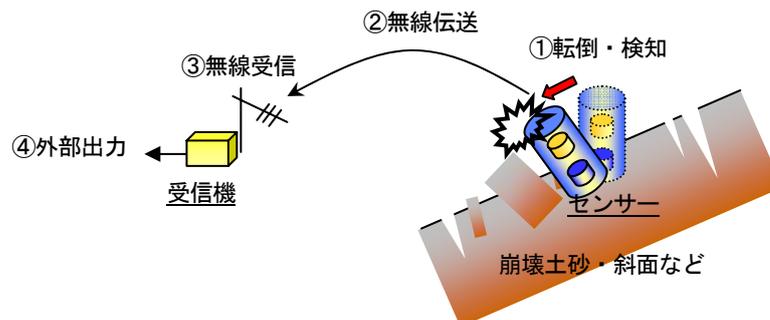
- ・リアルタイムで土砂の変位監視が可能：
センサーの転倒後、直ちに無線送信・受信され、受信機からは任意の伝送機器に出力させることができ、リアルタイムでの監視が可能である。
- ・設置が簡単：
センサーは1個あたり2kg程度であり運搬・設置が容易である。このため設置時間が短くて済み、二次災害に遭遇する危険を回避しやすい。
- ・長期運用が可能：
センサーは内蔵したバッテリーで1年以上の運用が可能である。
- ・安価：
センサーは1台数万円程度であるため、多点監視を行う際に費用が少なくて済む。



センサーの外観

②欠点

- ・無線伝搬距離：
無線の伝搬距離は直線見通し上で約 500～1km 程度であるが、地形や樹木による遮蔽によりその距離は低減するため、実設置前に現地で無線伝搬試験を行う必要がある。
- ・検知後の再使用が困難：
センサーは一回検知すると、そのままの状態では継続使用ができない。この場合、人力で直立に修正する必要がある。



崩壊検知センサーの検知概要図

10. 崩壊部の計測データ管理基準値（参考資料）

崩壊部の計測データの管理基準値を設定するときの参考資料を下表に示す。

表 崩壊部の計測データ管理基準値の参考資料

計測器種類	機関名または研究者	管理基準値	備考				
地表伸縮計	渡（1985）	警戒態勢/必要に応じて避難 1mm/day 以上が 5～10 日継続または 1cm/day 以上が 2 日以上継続。 緊急避難・地区内立入り禁止 2～4mm/h 以上。					
	西嶋（1991）	警戒体制 5～10mm/日以上 避難体制 2～3mm/h 以上	農水省技術検討委員会「緊急時に於ける地すべり対策」で発表分。延 15 年間の長野県下の地すべり調査・対策・施工結果のまとめ。				
	(財) 高速道路調査会 昭和 63 年 2 月	調査・設計段階の管理基準値 ・異常値と認められる最小値 0.5mm/日 ・活動中地すべりと判定すべきとき（上記に加え） (1) 計測値に経時的な累積性が認められる場合 (2) 複数の計測機器で同時に同様な変動傾向を示す場合 (3) 降雨・降雪に関連して累積変動を繰り返す場合（回転・回帰変動を含む） (4) とくに、パイプひずみ計や地中傾斜計など地中変位計測ですべり面と認定できる計測結果が得られた場合 施工段階の管理基準値 ・点検・要注意または観測強化 5mm 以上/10 日 ・対策の検討 5～50mm 以上/5 日 ・警戒・応急対策・通行止め検討 10～100mm 以上/1 日 ・嚴重警戒・通行止め 100mm 以上/1 日 維持管理段階の管理基準値 ・点検・要注意または観測強化 10mm 以上/30 日 ・対策の検討 5～50mm 以上/5 日 ・警戒・応急対策・通行止め検討 10～100mm 以上/1 日 ・嚴重警戒・通行止め 100mm 以上/1 日	計測誤差を越えた計測値を「異常値」という。				
	斉藤（1972）	日常変化 10 ⁻⁷ /分以下 要注意 10 ⁻⁷ /分以上 要警戒 10 ⁻⁶ /分以上 嚴重警戒 10 ⁻⁶ /分以上	単位は 地表歪速度	土と基礎（1972）他。 未崩壊含む経験余裕時間からの見当による区分値。			
	建設省 河川砂防技術（案） ・調査編	警報 4～1mm/h 以上 地すべりの運動形態の予測（一部のみ抜粋） 新鮮又は弱風化の岩盤 突発性 風化岩盤 急速性, 1cm/日以上になる 礫混じり土砂 断続性, 1mm～10cm/日 粘土性 継続性, 1mm～1cm/日		市販の警報器について			
藤原（1979）	地盤変動種別一覧						
	変動種別	日変位量 (mm)	累積変動量	一定方向への累積傾向	変動形態 (引張り、圧縮、断続)	総合判定	
	変動A	1 以上	10 以上	顕著	引張り	確定	活発に運動中 表層・深層すべり
	変動B	0.1～1	2～10	やや顕著	引張り・断続	準確定	緩慢に運動中、粘質土・崩積土すべり
	変動C	0.02～1	0.5～2	ややあり	引張り・圧縮	潜在	継続観測必要
変動D	0.1 以上	なし	なし	規則性なし	以上	局所的な地盤変動・その他	
光波測距儀	(財) 高速道路調査会 昭和 63 年 2 月	調査・設計段階の管理基準値 ・異常値と認められる最小値 固定式 5mm/回 移動式 10mm/回 ・活動中地すべりと判定すべきとき（上記に加えて） (1) 計測値に経時的な累積性が認められる場合 (2) 複数の計測機器で同時に同様な変動傾向を示す場合 (3) 降雨・降雪に関連して累積変動を繰り返す場合（回転・回帰変動を含む） (4) とくに、パイプひずみ計や地中傾斜計など地中変位計測ですべり面と認定できる計測結果が得られた場合 施工段階の管理基準値 ・点検・要注意または観測強化 5mm 以上/10 日 ・対策の検討 5～50mm 以上/5 日 ・警戒・応急対策・通行止め検討 10～100mm 以上/1 日 ・嚴重警戒・通行止め 100mm 以上/1 日 維持管理段階の管理基準値 ・点検・要注意または観測強化 10mm 以上/30 日 ・対策の検討 5～50mm 以上/5 日 ・警戒・応急対策・通行止め検討 10～100mm 以上/1 日 ・嚴重警戒・通行止め 100mm 以上/1 日	計測誤差を越えた計測値を「異常値」という。				

出典) 地すべり観測便覧 H8.10 (社) 地すべり対策技術協会他

1.1. 崩壊斜面の緊急計測手法 (RE・MO・TE 2)

概要

RE・MO・TE 2 (Remote Monitoring Technology 2)¹は、再崩落や被害の拡大が予想される斜面に遠隔からターゲットを設置し、そのターゲットを視準することで地盤変位を精度よく計測しようとするものである (図-1~4)。この計測方法は、次のような特徴を有する。

- ①標的の存在により、視準誤差が生じにくい。
- ②トータルステーションの性能以上の距離、夜間の計測も可能。
- ③ピンポイント (±30cm/300m) で標的 設置・計測が可能。
- ④設置準備作業は 5 分程度。設置直後から計測可能。
- ⑤安全な場所で標的設置・計測作業のすべてが行える。
- ⑥専用のパッキングにより、全国 24 時間以内に現場へ手配可能。

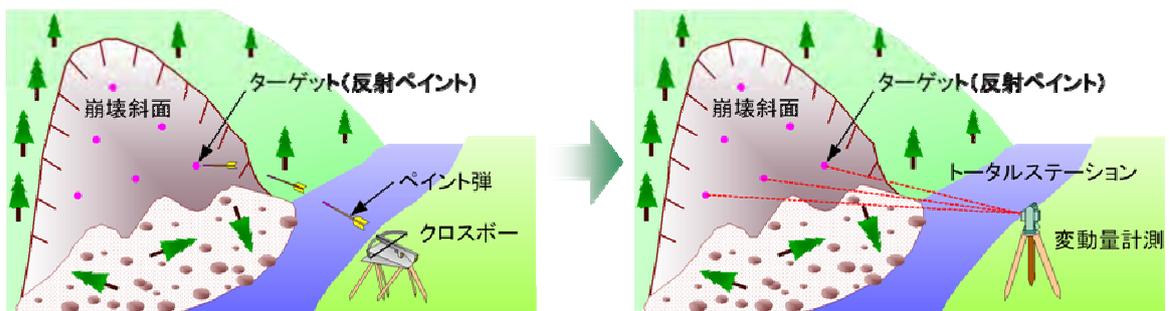


図-1 標的設置および観測の概要



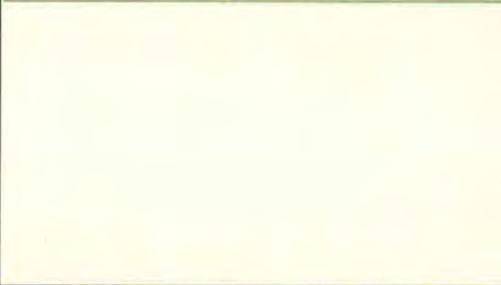
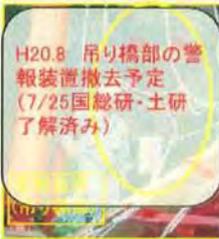
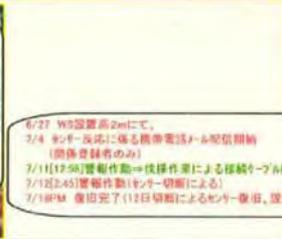
図-2 標的設置用資機材

図-4 設置された標的

¹ 特願第 2006-219156 号

1.2. 観測施設台帳の事例（岩手宮城内陸地震時の事例）

080628調製（土石流センサー）		様式-1	
水系名	北上川水系（迫川）	箇所名	迫S-4(センサー) [温湯地区(4)上流部]
設置位置	経度140° 46' 11" 緯度 38° 53' 18"	住所	宮城県栗原市花山町温湯
設置年月日	平成20年6月27日	問い合わせ先	北上川下流河川事務所
位置図（1）	<p>6/27 WS設置高2mにて。 7/4 センサー反応に係る携帯電話メール配信開始 （関係登録者のみ） 7/11(12:58)警報作動⇒伏拝作業によるセンサーケーブル断線による警報。復旧 7/12(2:45)警報作動(センサー切断による) 7/18PM 復旧完了(12日切断によるセンサー復旧。設置高2m)</p> <p>警報装置(吊り橋部)は撤去予定 (7/25国総研・土研了解済み)</p>		
	位置図（2）	<p>凡 例</p> <ul style="list-style-type: none"> 土石流センサー センサーケーブル(WS用) 警報装置 	
設置の目的			
<p>下流工事用 ・ 下流住民用 (工事名: 温湯地区除石工事) (対象地区名: 温湯温泉下流)</p>			

水系名	北上川水系 (迫川)		箇所名	迫S-4(センサー) [温湯地区(④)上流部]
設置前の状況写真				
				
設置後の状況写真				
	 <p>H20.8 吊り橋部の警報装置撤去予定 (7/25国総研・土研 了解済み)</p>	 <p>6/27 WS設置高2mにて、 2/4 センサー取付に係る機中電話メール配信開始 [調査記録のみ] 2/11(2:50)警報作動→故障作業による稼働停止による誤報、復旧 2/12(2:45)警報作動(センサー切断による) 2/18PM 復旧完了(12日朝期によるセンサー復旧、設置高2m)</p>		
設置に関する国総研、土研コメント				
<p>【現地確認日】平成20年6月23日</p> <p>■天然ダム排水工事実施までに、ワイヤーセンサーが設置可能になった時点で、温湯砂防堰堤部のワイヤーセンサーを本地点に移設する。(移設可能な環境になった時点で、保全対象である温湯温泉までの距離を稼ぐため)。</p> <p>■ワイヤーセンサーは、河床より概ねH=2mの高さに設置。(ワイヤーセンサーは、6月26日に設置)</p>				

水系名	北上川水系 (迫川)	箇所名	迫S-3(センサー) [大荒沢橋付近]
設置位置	経度140° 46' 14" 緯度 38° 52' 34"	住所	宮城県栗原市花山町本沢字温湯
設置年月日	平成20年6月28日	問い合わせ先	北上川下流河川事務所

位置図(1)

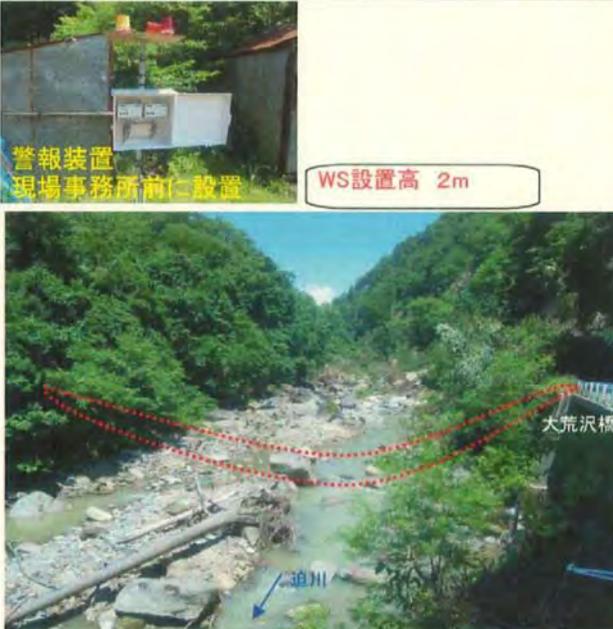


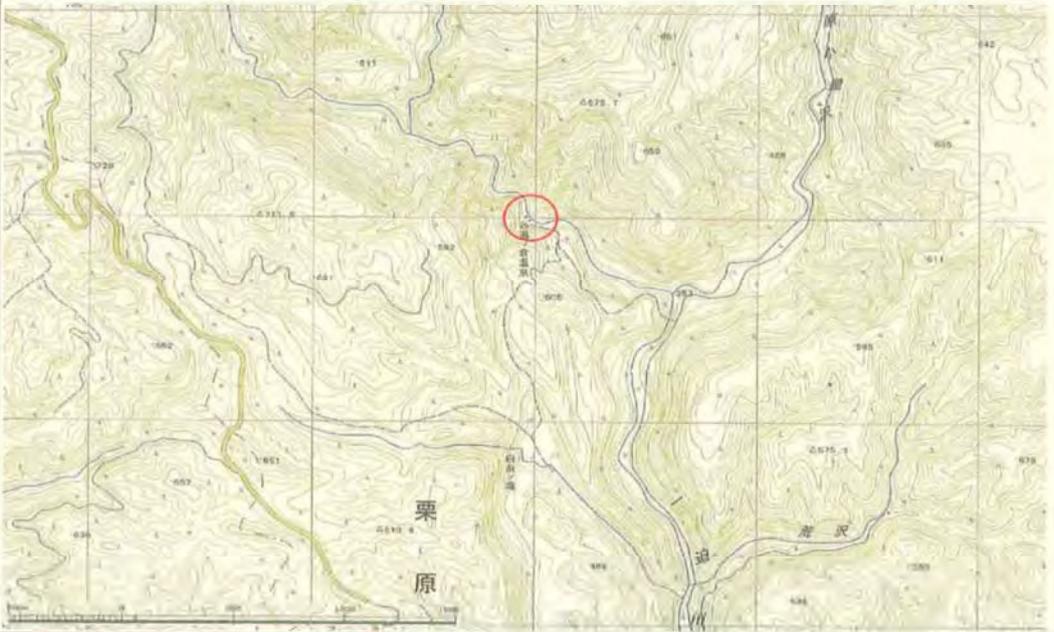
位置図(2)



設置の目的

下流工事用 ・ 下流住民用
(工事名: 温湯地区除石工事) (対象地区名: 温湯温泉下流)

水系名	北上川水系（迫川）	箇所名	迫S-3(センサー) [大荒沢橋付近]
設置前の状況写真			
	設置後の状況写真	 <p>警報装置 現場事務所前に設置</p> <p>WS設置高 2m</p>	
			
設置に関する国総研、土研コメント		<p>6/28 WS設置高2mにて、 7/4 センサー基座に係る携帯電話ケーブル配線開始 (関係登録済のみ) 7/6[17:11]警報作動⇒(転石と思われる接続ケーブル切断による誤報、7/7復旧、 7/12[2:40]警報作動(センサー切断による) 7/16AM 復旧完了(12日切断によるセンサー復旧、設置高2m)</p>	

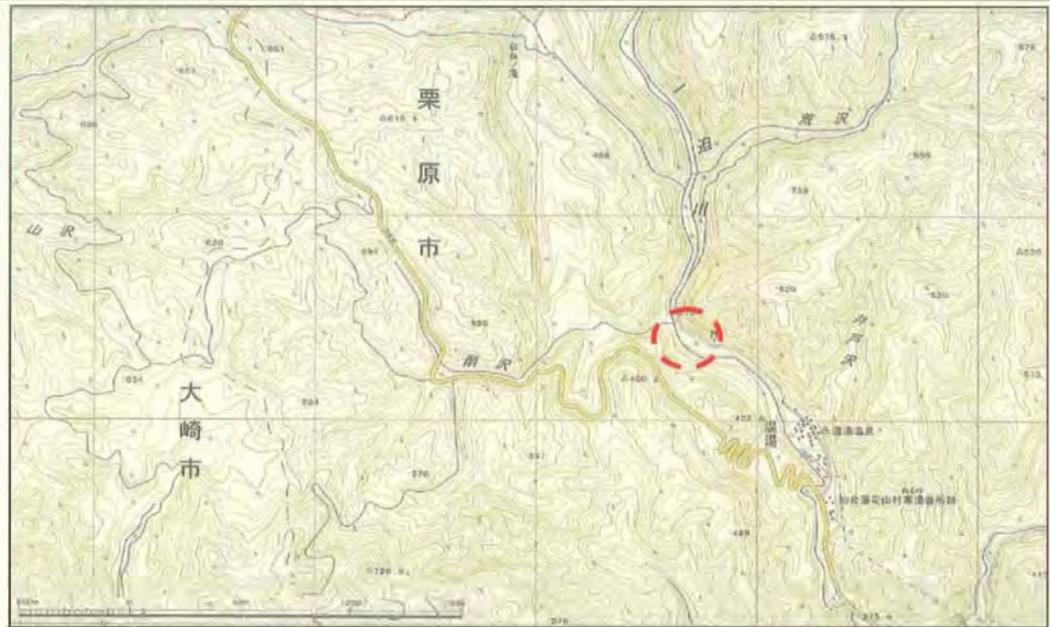
水系名	北上川水系 (迫川)	箇所名	迫川WL-4 (水位計) [湯ノ倉温泉地区(5)]
設置位置	経度 緯度	住所	宮城県栗原市花山町本沢岳山
設置年月日	平成20年6月29日(水位計) 平成20年8月 日(雨量計・警報)	問い合わせ先	東北技術事務所 (北上川下流河川事務所)
位置図 (1)			
設置の目的			
下流工事用 下流住民用 (工事名:湯ノ倉地区工事) (対象地区名:湯ノ倉温泉)			

水系名	北上川水系（迫川）	箇所名	迫川WL-4（水位計） [湯ノ倉温泉地区(⑤)]
設置前の状況写真			
設置後の状況写真			
設置に関する国総研、土研コメント			
<p>【現地確認日】平成20年6月23日</p> <p>■湛水位を把握するために、フローターGPS(仮称)の投入を検討中。</p>			

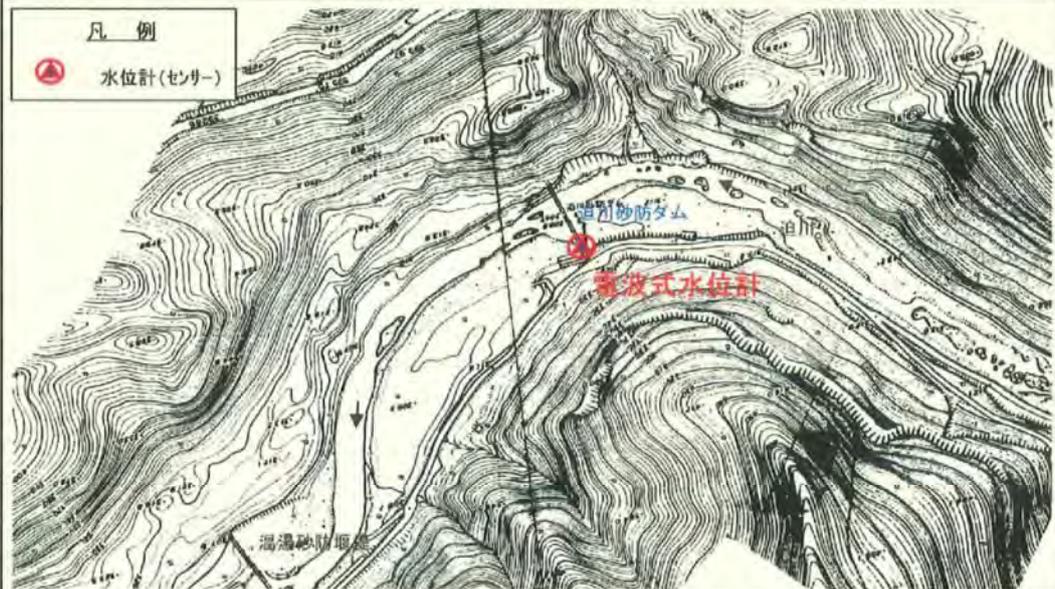
水系名	北上川水系（迫川）	箇所名	雨量計&警報装置 [湯ノ倉温泉地区(⑤)]
設置前の状況写真			
設置後の状況写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="448 913 746 1021" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> テント内に雨量表示設置 (雨量表示と回転灯を設置する。) </div> <div data-bbox="767 913 1026 1021" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> Ku-satに接続 (本局へ10分雨量のデータを送信) </div> <div data-bbox="1062 913 1422 1021" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> 雨量計設置位置 (樹木の状況、工事の支障等を考慮し決定する。) </div> </div> 		
設置に関する国総研、土研コメント			
<p>【現地確認日】平成20年6月23日</p> <p>■湛水位を把握するために、フローターGPS(仮称)の投入を検討中。</p>			

水系名	北上川水系 (迫川)	箇所名	迫川WL-3 (水位計) [迫川砂防ダム(2つ目)部]
設置位置	経度140° 46' 11" 緯度 38° 52' 9"	住所	宮城県栗原市花山町本沢
設置年月日	平成20年7月 2日 [設置] 平成20年7月30日 [変更]	問い合わせ先	北上川下流河川事務所

位置図(1)

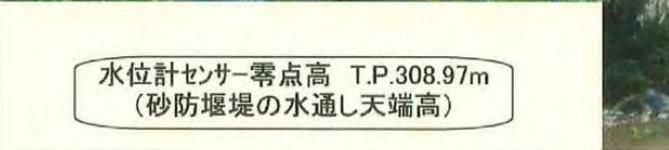


位置図(2)



設置の目的

下流工事用 ・ 下流住民用
(工事名:) (対象地区名: 温湯地区下流)

水系名	北上川水系 (迫川)	箇所名	迫川WL-3 (水位計) [迫川砂防ダム(2つ目)部]
設置前の状況写真			
設置後の状況写真	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div data-bbox="424 898 1093 1368">  </div> <div data-bbox="1114 904 1374 943" style="border: 1px solid black; padding: 2px;">平成20年7月2日設置</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div data-bbox="424 1368 1093 1518">  </div> <div data-bbox="1023 1137 1401 1518">  </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px; border: 1px solid black; border-radius: 10px; padding: 5px;"> 水位計センサー零点高 T.P.308.97m (砂防堰堤の水通し天端高) </div>		
設置に関する国総研、土研コメント			
<p>【現地確認日】平成20年6月23日</p> <ul style="list-style-type: none"> ■超音波水位計を設置のこと(上流の天然ダムからの流出状況等の監視を行い、下流住民の安全管理に資するため)。 ■電波式に変更(無線装置による送信を考慮したことによる) 			

水系名	北上川水系 (迫川)		箇所名	迫川WL-3 (水位計) [迫川砂防ダム(2つ目)部]	
設置前の状況写真	 <p>平成20年7月2日設置</p>		 <p>H20.07.19 [14:43] 迫川砂防堰堤 施工状況</p> <p>水位計設置箇所 (流水有り)</p>		
	 <p>H20.07.20 [13:36] 迫川砂防堰堤 施工状況 (流水は水抜き穴より流下)</p> <p>水位計設置箇所 (流水無し)</p>		 <p>H20.07.20 [13:39] 迫川砂防堰堤 施工状況 (堰堤上流部掘削により水位低下)</p> <p>水位計感部=堰堤水通し天端 (流水無し)</p>		
設置後の状況写真	 <p>H20.7.30 [16:10~] センサー受発信部の位置変更</p> <p>受発信部</p> <p>河床高~水通し天端 1.80m</p> <p>河床高=307.17m</p> <p>水位=0m 308.97m(=零点高)</p> <p>H20.7.31測定状況</p> <p>水位=-1.15m 水深=0.65m</p>				
設置に関する国総研、土研コメント					
【現地確認日】平成20年6月23日					
■超音波水位計を設置のこと(上流の天然ダムからの流出状況等の監視を行い、下流住民の安全管理に資するため)。					
■電波式に変更(無線装置による送信を考慮したことによる)					

1 3. 監視情報通信システム

1 3. 1 携帯電話通信システム

1) システムの概要

一般に使われている携帯電話を利用し監視情報を伝達する方式。すぐに手に入るまたは既に持っている、誰しもの使い慣れている、システム構築がいらぬ等、迅速に利用可能なシステムとしては有効な方法である。

しかし山間部ではサービスエリア外で使用できない、地震などの大規模災害時には携帯電話会社の通信ネットワーク自体がダウンしている、通信が殺到し輻輳状態になり繋がらぬ等の問題点があるため留意が必要である。

携帯電話の使用方法として、情報連絡等の一般的な通話、内蔵したカメラで撮影した動画や静止画の伝送、パソコンに接続してのデータ伝送などが挙げられる。

2) 特徴

①利点

- ・すぐに手に入るまたは既に持っている
- ・誰しもの使い慣れている
- ・新たなシステム構築がいらぬ、すぐに数多く用意が出来る
- ・高解像度のデジタルカメラ内蔵・動画撮影可能なタイプがある

②欠点

- ・山間部ではサービスエリア外で使用できない場合が多い
- ・地震などの大規模災害時には携帯電話会社の通信ネットワークがダウンしている場合がある
- ・災害時、通信が殺到し輻輳状態になり繋がらぬ場合が多い
- ・バッテリーの充電が必要であり、電源確保が必要

3) 利用イメージ

- ・携帯電話が通じた場合の初動の概略調査から用いる迅速かつ安易な音声通話・データ伝送システムとして利用

表 13.1 携帯電話通信システム監視機器対応表

監視内容	全体状況	水位				降雨量	流速		侵食量			移動量		崩壊検知	土石流発生検知
		監視カメラ(市販のビデオカメラ等)	水位標の目視	測量機器による計測	投下型水位観測ブイ		水圧式水位計	転倒ます型雨量計	浮子	流速計(回転・電磁・超音波)	距離計(簡易レーザ)	地上測量機器			
データ伝送(ログ→PCに接続)	△ 静止画像	○ 要入力作業	○ 要入力作業	○	○	○	○ 要入力作業	△ タイプにより要入力	○ 要入力作業	○	○ 通信時間長い	○ 要入力作業	○	△ 送受信タイムラグによる警報発令への影響あり	△ 送受信タイムラグによる警報発令への影響あり

※音声通話にて各監視機器の情報を口頭で伝達する方法もある。

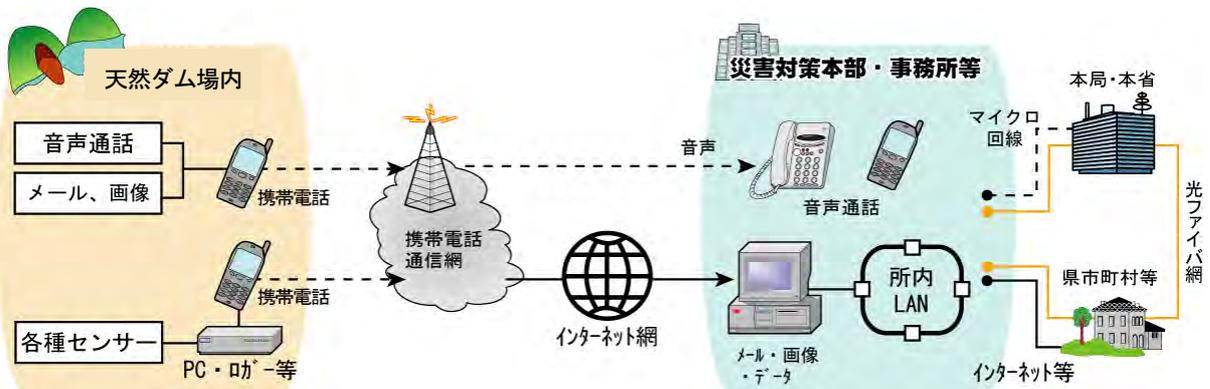


図 13.1 携帯電話通信システム利用イメージ

13.2 衛星系無線通信システム

衛星通信システムは人工衛星を中継局として利用したシステムで、広域性、同報性、耐災害性に優れ、かつ柔軟で容易な回線設定が可能である特徴を有する。すでに多くの分野で活用されており、災害時通信の有効性も広く確認されている。

衛星通信システムは、人工衛星を中継局としているため災害時の影響を受けにくく、かつ山間地でも通信が可能である。このため、国土交通省・地方自治体・警察・消防用の緊急電話回線として、緊急時の情報伝達システムとして実績が多い。

衛星通信システムの主な種類には、民間電話会社が提供する①衛星携帯電話を利用する方法と国土交通省が保有している②衛星通信車、③衛星小型画像伝送装置（Ku-SAT）を利用する方法が挙げられる。

(1) 衛星携帯電話

1) システムの概要

衛星携帯電話は、携帯電話における地上の中継局の代わりに人工衛星を中継局として利用したシステムであり、使用できるエリアが広いこと、地上災害の影響を受けにくいなどの特徴がある。

種類として、静止衛星を利用したものと、低軌道周回衛星を利用したものがあり、その特徴を以下の比較表に示す。

表 13.2 衛星携帯電話比較表

使用する衛星	静止衛星	低軌道周回衛星
飛行高度	12000km	780km
アンテナ向き調整	必要（真南方向で仰角 45° 付近が見通せる必要あり）	不要
データ通信	可能	可能
バッテリー性能	連続待受時間：20 時間 連続通話時間：2 時間	連続待受時間：30 時間 連続通話時間：3.6 時間
通話端末重量	約 1700g	約 400g
端末の外形	 <p>(画像：NTT ドコモ社 HP より転載)</p>	 <p>(画像：KDDI 社 HP より転載)</p>

2) 特徴

①利点

- ・地上設備の被災の影響を受けることがなく通信が可能
- ・山間地でも通信が可能（ただし、衛星と結ぶ直線上に樹木などの障害物がない場所で通信する必要がある）

②欠点

- ・携帯電話に比べ連続通話時間が短い
- ・一般の携帯電話より音声の品質が良くない
- ・データ送信から受信までのタイムラグが数分ある。

3) 利用イメージ

・携帯電話が通じない場合の初動の概略調査から用いる、迅速かつ安易な音声通話・データ伝送システムとして利用

表 13.3 衛星携帯システム監視機器対応表

監視内容	全体状況	水位				降雨量	流速		侵食量			移動量		崩壊検知	土石流発生検知
監視機器	監視カメラ (市販のビデオカメラ等)	水位標の目視	測量機器による計測	投下型水位観測パイ	水圧式水位計	転倒ます型雨量計	浮子	流速計 (回転・電磁・超音波)	距離計(簡易レーザー)	地上測量機器 トータルステーション(ノックアウト) 3Dレーザースケナ		地上測量	伸縮計	崩壊検知センサー	ワイヤーセンサー等
データ伝送 (ロガー・PCに接続)	△ 静止画像	○ 要入力作業	○ 要入力作業	○	○	○	○ 要入力作業	△ タイフにより要入力	○ 要入力作業	○	○ 通信時間長い	○ 要入力作業	○	△ 送受信タイムラグによる監視発令への影響あり	△ 送受信タイムラグによる監視発令への影響あり

※音声通話にて各監視機器の情報を口頭で伝達する方法もある。

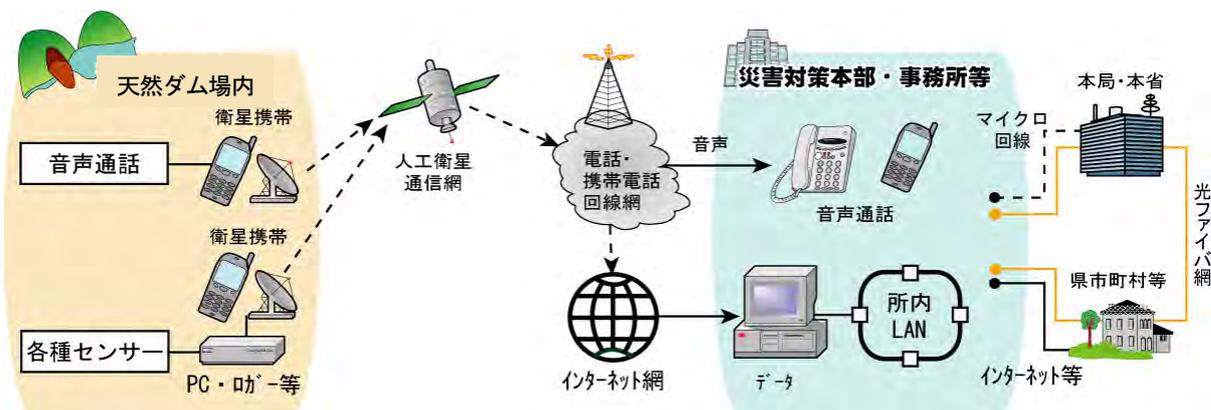


図 13.2 衛星携帯システム利用イメージ

(2) 衛星通信車

1) システム概要

国土交通省が保有する衛星通信車は、車両に衛星通信施設、電源等を搭載し、静止衛星（JCSAT衛星）を使用し、災害現場の衛星通信車と災害対策本部や地方整備局等間で回線を構築するもので、日本国内のほぼ全域で通信を確保することが可能である。衛星通信車は、災害の影響を受けることなく、どこでも回線を設置することが可能なため、災害現場の情報収集や他の回線のバックアップに利用されている。また、ヘリコプターからの映像を事務所等へ中継する装置なども搭載されている。しかし、短所として、天然ダム箇所近くまで道路が通じていないと車両が入れない事である。

<衛星通信車の主な送受信装置と回線数>

送受信装置：送信出力 300W
 送受信周波数：14/12GHz
 通信端局装置：通信回線数 6ch、打合せ回線数 1ch
 画像端局装置：1.5Mbps 準動画、6.3Mbps 動画
 小型交換装置：収容回線 衛星回線接続数 6回線
 衛星自動車電話回線数 1回線
 内線数 11回線
 発動発電機：定格出力 11KVA



図 13.3 衛星通信車の外観と主な仕様

(参考例:北陸地方整備局所有の衛星通信車)

2) 特徴

①利点

- ・災害の影響を受けることなく通信が可能
- ・画像伝送装置による動画伝送が可能（ヘリコプターからの映像も事務所等へ中継可能）
- ・衛星電話等の交換装置を搭載し、複数の電話回線が利用可能
- ・関係機関に衛星受信装置を設置すれば同時に情報の受信が可能（情報の一斉配信・共有化）

②欠点

- ・天然ダム箇所の近くまで道路が通じていないと車両が入れない。

3) 利用イメージ

・天然ダム箇所の近くまで道路が通じている場合の画像伝送や、対策本部、市町村等の情報通信基地局として利用

表 13.4 衛星通信車システム監視機器対応表

監視内容	全体状況	水位			降雨量	流速	侵食量		移動量	崩壊検知	土石流発生検知				
監視機器	監視カメラ (市販のビデオカメラ等)	水位標の目視	測量機器による計測	投下型水位観測パイ	水圧式水位計	転倒ます型雨量計	浮子	流速計 (回転・電磁・超音波)	距離計(簡易レーザー)	地上測量機器 トータルステーション(ソフコ) 3Dレーザー スキャナー		地上測量	伸縮計	崩壊検知センサー	ワイヤーセンサー等
画像伝送装置	○	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
データ伝送 (ロガー-PCIに接続)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

※音声通話にて各監視機器の情報を口頭で伝達する方法もある。

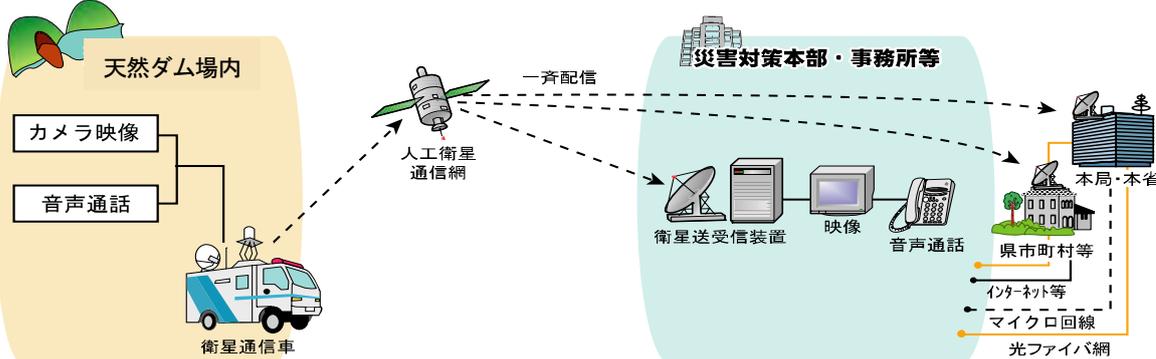


図 13.4 衛星通信車システム利用イメージ

13.3 地上系無線通信システム（国土交通省移動通信システム（K-COSMOS））

1) システム概要

国土交通省移動通信システム（K-COSMOS）は、地上系の移動無線通信システムを利用し、災害時はもとより平常時の管理業務にも使われている方式である。専用の移動通信施設としてMCA（Multi Channel Access）方式を用いており、複数の周波数を多数の利用者が効率よく使える業務用無線通信方式の一つで、混信に強く、無線従事者の資格が必要ないなどの特徴がある。

マイクロ回線や衛星回線等と相互接続し迅速な災害情報収集、通報、連絡指揮を可能としている。現場の状況を音声により通信するシステム。



図 13.5 K-COSMOS 外観

また、天然ダム発生場所が山間部等でK-COSMOSの電波が届かず通信不能な状態であった場合には、K-COSMOS 通信車を出勤させ中継局とする事で、臨時にサービスエリアの確保が可能となる。



図 13.6 K-COSMOS 通信車外観

2) 特徴

①利点

- ・通常の業務においても既に利用しており、天然ダム形成時にもそのまま利用が可能
- ・新たなシステム構築がいない
- ・輻輳や混信に強い

②欠点

- ・通信エリア外で利用不可能な場所がある（ただし、K-COSMOS 通信車を中継局とする事によりエリア内とする事が可能）

3) 利用イメージ

- ・電波が通じた場合の初動に用いる臨時の情報通信システムとして利用
- ・主な通信情報内容：音声通話等

表 13.5 K-COSMOS システム監視機器対応表

監視内容	全体状況	水位			降雨量	流速		侵食量			移動量		崩壊検知	土石流発生検知	
		監視カメラ (市販のビデオカメラ等)	水位標 の目視	測量機器 による計測		投下型水位 観測パイ	水圧式 水位計	転倒ます 型雨量計	浮子	流速計 (回転・電磁・ 超音波)	距離計(簡易 レーザ)	地上測量機器			地上測量
監視機器	---	---	---	---	---	---	---	---	---	トータルステーション (ノックアウト)	3Dレーザ スキャナー	---	---	---	---
データ伝送 (ロガー→PCに接続)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

※主に音声通話にて各監視機器の情報を口頭で伝達する。

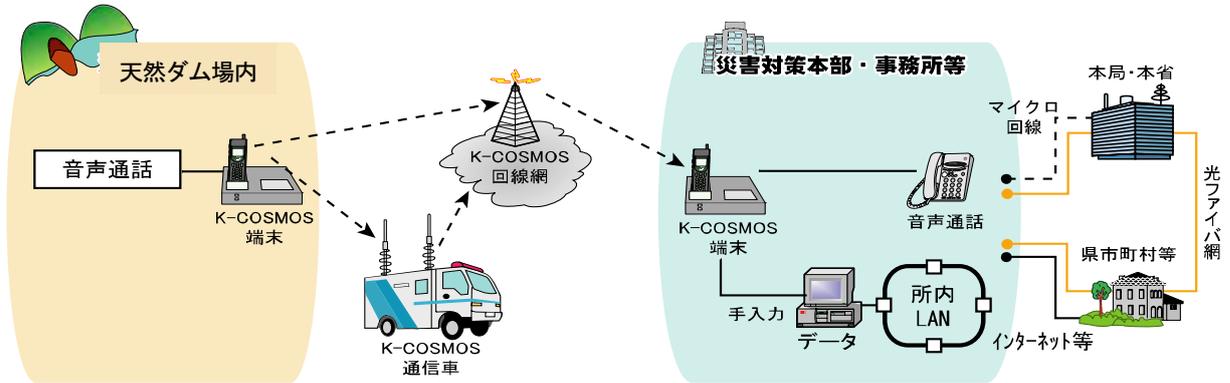


図 13.7 K-COSMOS システム利用イメージ

14. 天然ダム場内の監視機器の無線化について

天然ダム形成初期に設置した監視機器は、緊急にシステム構築を行うため、監視機器から情報通信システム機器までが有線ケーブルで長距離接続されており、天然ダムの緊急対策工事が始めると緊急対策等の工事車両により切断される恐れがある。

したがって、工事車両より切断されなくする為に、有線ケーブル接続を無線化する事が有効な方法である。

監視機器のデータ伝送を無線化する方法には、免許のいらぬ方法である微弱無線、特定小電力無線、無線LAN、ZigBee等の無線通信方法がある。

各無線方式には、それぞれ特徴があり、現場の特徴、入手のしやすさ、観測機器との適合性等を鑑み選定する。

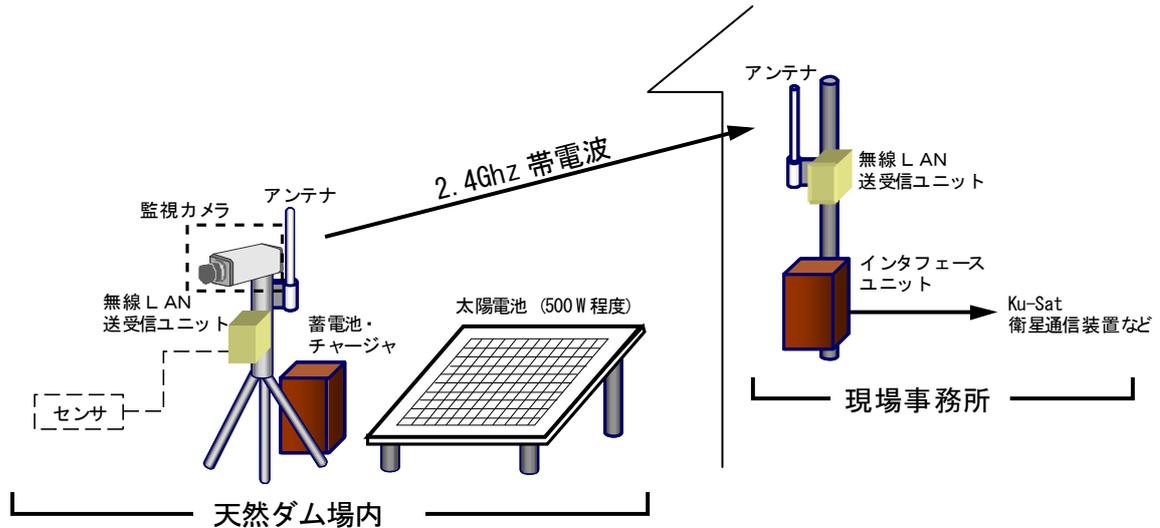


図 無線LANによる天然ダム場内の映像情報伝送(参考例)

15. 中越地震で発生した天然ダムの監視手法に関するヒアリング結果

中越地震で発生した天然ダム監視・観測手法に関するヒアリング結果

(斜体がヒアリング結果)

湯沢砂防事務所にてヒアリングを実施し、結果を以下にとりまとめた。

問1. 天然ダム発生時に必要となる観測項目に関して

問1-1 天然ダム発生時の観測内容は以下の項目が考えられるが、実際に監視・観測した経験からこの項目以外に追加する項目とは？

各項目実施状況は以下のとおり

- ①雨量：新潟県設置の雨量計により実施
- ②湛水部の水位：新潟県設置のスタッフ及び水位計により実施
- ③湛水部への流入量：未調査(湛水池の水位上昇により推移)
- ④湛水部からの流出量：不定期に流量観測を実施(ポンプ効率等の確認)
- ⑤湛水域の面積：既存の地形図によりH-V曲線を作成
- ⑦崩壊斜面(地すべり斜面)の変位観測：地表面に傾斜計を設置したが、緊急・応急対策工事の実施にあたり支障となり十分な観測はできていない。
- ⑧閉塞部下流側の侵食速度・量：詳細な地形測量等は未実施。
- ⑧閉塞部下流側の変状(例えば漏水など)：工事实施にあたり定期的な現場巡視により変状の有無を確認。
- ⑨土石流発生の有無：土石流センサーを降雪期までに寺野に設置、県は梶金橋及び小芋川大橋に設置。
- ⑩現地全般の状況把握

問1-2 実際に観測を実施して、最も必要とする観測項目とは？

- ① 天然ダムの上流部(湛水池)の水位情報
- ② 天然ダムへの流入量、流出量の情報
- ③ 湛水池面積に関する情報

問1-3 観測項目の中で、最も自動伝達したい情報とは？

- ④ 天然ダムの上流部(湛水池)の水位情報
- ⑤ 天然ダムへの流入量、流出量の情報
- ⑥ 湛水池面積に関する情報

問1-4 問1-1の観測項目別に、時間の経過を軸に伝達方法、観測機器設置状況、情報内容、提供先等の対応状況(タイムライン)を整理した表を作成しています。表-1～表-4における空欄箇所、間違い、追加する点、特記する点とは？(また、下記整理項目内容についてわかる資料等がございましたら、お貸りできますでしょうか)

機器設置日時、情報配信データリスト、機器設置配置図、寺野・東竹沢経過報告の各資料を提供。

問2. 監視・観測機器に関して

問2-1 価格、入手の難易、設置時間等の要件があわなく設置できなかった機器の有無？それがあればあわなかった要件とは？

今回の機器に関しては業者に在庫があり入手に問題はなかった。難しい条件さえ付けなければ調達に無理はないと思われる。

問2-2 実際に地震災害を経験した上で、災害発生時のために事前に準備しておくべき観測機器や機材に関し何が必要か？

- ① コンサルタントや業者の機器に関するストック情報があればよい。
- ② 災害対応の観測機器は、短納期で現場に設置できることが重要である。

問2-3 現在の監視・観測機器の観測精度・警報基準値はどれくらいをみるのか？観測精度・警報基準値について検討した内容とは？

- ① 警戒基準水位は暫定的に決めた。
- ② 地すべり 4mm など一般的なものを適用した。

問2-4 設置・観測を行った機器に対しても問題や課題があったと思われませんが、その具体的な内容と、それに対して実際に実施した対応策とは？

- ① 単一センサーに頼ると観測結果の検証ができない。同一種、または異なるセンサーによる二重化が必要。
 - ・ 東竹沢の水位観測で新潟県のものに加え湯沢砂防でも新たに設置。
- ② 水位計
 - ・ 観測初期段階では圧力式水位計を投げ込んで暫定設置した。このため零設定出来ずスタッフゲージの読み取りによる観測と並行観測し、後から絶対標高に変換した。
 - ・ 圧力式水位計の暫定設置によりデータがふらつき、スタッフゲージの読みと異なることが生じた。(その後安定したが)
 - ・ 水位観測の場合、10分間隔のデータで相互に比較するとバラツキが多くなる傾向があった。平均化などの処理をすれば1時間単位の観測周期で充分である。
- ③ 流入量
 - ・ 上流部に湛水池が複数存在していたが水位等の実態把握が困難であったため流入量が過小評価された。このため閉塞部の排水ポンプの排水能力と設置台数が少なめに評価された。上流域の状況が把握され始めてからは排水能力と設置台数の正しい算定が可能となった。
 - ・ 天然ダムの上流側で、例えば三角堰を用いた流量観測の必要性は充分認識しているが発生当時はアクセスが困難であり、観測できなかった。
- ④ 流出量
 - ・ 天然ダムの下流に位置する橋で定期的に流量観測を実施し、流出量を把握した。
 - ・ 天然ダムからの漏水分の水量はわからなかった。
- ⑤ 湛水面積
 - ・ 地震前の詳細な地形図、空中写真がなく現存の1/5000で行ったが精度が悪かった。
 - ・ 崩壊があるので水中部の地形状況がわからなかった。
 - ・ 災害発生後は、航空写真等の地形変状に関する情報が得られやすいが発生前の原地形を確認する手段の入手が困難である。このため出来る限り事前準備が必要である。
- ⑥ 崩壊斜面の変位観測
 - ・ 対策工事実施が最優先課題のためボーリング調査など地すべり動態把握のための調査は困難であった。
- ⑦ 侵食量
 - ・ 現地からの情報は写真がほとんどなので、写真から侵食量を算定できればよい。

問2-5 観測全般について、現在までの実施状況の中で考えられる改良、変更点とは？

① 現地確認

- ・ ヘリが有効で、民間航測会社のデータを活用することができた。
- ・ 写真等の平面図からZ軸方向の情報（高さ情報）を得る方法の検討が必要である（災害当初は、現場で正確な測量は不可能であるため手持ちの資料から推定することになる）

② 観測機器の小型・軽量化

- ・ 災害対応の観測機器は、小型・軽量であることが重要な要件。
- ・ 例えばクーラーボックス程度の大きさで屋外使用可能な防水構造が必要。

③ 天然ダム場内の情報通信の無線化

- ・ 場内の観測機器用ケーブルは工事車両による切断事故が多発し、無線化が不可欠である。

④ センサーの誤作動防止対策の事前準備

- ・ ワイヤセンサーなど誘導雷による誤作動があり、センサー単体での誤作動対策と共に他のセンサー（水位、流量等）情報と相互参照するなどシステム全体として誤作動防止策が必要。

⑤ 電源の確保

- ・ 発動発電機の活用～給油の問題がある。

⑥ 支援

- ・ 災害当時、地すべりなどの専門家が常駐し支援頂いたことが非常に有効であった。
- ・ 本局の支援により事務所の負担が軽減され、具体の対策を円滑に進めることが出来た。（事務所で対応人員数に限度があり、独自に判断して行動することが困難な状況であった）

⑦ 画像

- ・ 現場からの情報は、観測データと共に画像情報が不可欠である。画像は、コマ送り程度で充分実用に耐える。

問2-6 今後、新たな観測機器の設置予定がある場合の観測目的、機器、設置場所等とは？

① 現在寺野の監視カメラは作業現場が見えていないので移動の必要がある。

② 現在の観測機器は適所に設置されているかどうか配置計画について検討する必要がある（たとえば気温はそこを代表しているか等の検討）。

③ 安全確保のため、今後、計測を引き続き実施する。

④ 対策工事後の土地利用。

- ・ 対策地の地すべり安全性を監視するため常時監視システムが必要と考える。

3. 情報の通信・システムに関して

問3-1 事務所、局、本省、市町村への情報伝達が自動化できていなかった場合、それが何による原因だったのか？（現場→事務所・関係機関、事務所→関係機関）

- ① Ku-SAT の回線数がたりなかった。
- ② 災害当初、携帯電話を使うことができなかった。今後は従来型の無線装置との併用などが良いと思うが、日常、使うことになっていたほうが良い。
- ③ 衛星携帯電話は、バッテリー容量が足りないため1日あたり3台の衛星携帯電話を交替に使用した。また通信が不安定で不便さが感じられる。
- ④ 情報伝送回線も単一回線では回線断時に情報伝送が不可能となる。このため無線と有線伝送路の組み合わせ、2ルート化等の方法による回線の二重化が必要(i モードと光ケーブルの組合せ)。

問3-2 実際に地震災害を経験した上で、災害発生時のために事前に準備しておくべき情報通信システムや情報機器等に関し何が必要であるのか？

Ku-Sat が本局にあったので使えた(ヘリで運搬)が、次の問題がある。

- ・ 回線数が不足後から増強せざるを得なかった。一つの現場あたり「1画像+データ」が最低限必要な情報構成である。
- ・ パラボラアンテナの着雪対策(下から投光器を利用して暖め着雪対策を実施した)

問3-3 ミーティング時に活用したマルチスクリーン等の情報機器に改善を求めるとしたら何なのか？

- ① 現在8画面しかなく、ニュース画像などを写すと画面が少なくなるので、もう少し多くの画面が必要。
- ② レーダー雨量を写すが、ポイントが出ないために画面にシールを貼るなどして対応した。
- ③ 空き容量が少なく他の事務所の画像は見れなかった。

問3-4 ネットワークサーバによる情報共有環境の立ち上げに要した日数、情報管理の問題(閲覧専用と書き換え可能情報の区分、セキュリティ等)とは？

- ① 立ち上げはほぼ1日で終了した。
- ② フォルダ作成のルールが必要。現在作りつつある。

問3-5 ネットワークサーバによる情報共有環境の現在の利用状況および現場などとの情報共有に展開する際の課題等とは？

- ① 写真の閲覧には非常に便利である。
- ② 現在も使用している。
- ③ 既存情報のデータベース化が必要。
 - ・ 発生直前・直後の地形図が無かったため、道路台帳等の関連する情報から推定した。これらの情報収集もデータベースが有れば円滑に出来たと考える。
- ④ 工事関係者が収集している情報の活用。
 - ・ NTT ドコモの公衆回線および光ケーブルを利用して事務所に伝送し活用した。なお、現場のデータは、監督員詰め所に集約し、一元管理できる環境が整った。

4. 総括

問4-1 上記の設問以外で、実際に現場で発生した問題や課題はありますか、それに対する対応策とは？

特になし

問4-2 現在、解決できていない問題や課題とは？

Ku-SAT の回線数、装置の準備で1場所あたり1画像とデータは最小限必要。

問4-3 全体を通して、一番困ったこととは？

携帯電話が使えなかった点(問3-1参照)。

問4-4 天然ダムの状況の変化により、必要とする情報・項目はどのように変わっていったのか？

提供資料参照。

問4-5 現在(2005年10月)の危機管理の行政上の分担(国、県、市町村)とは？

- ① 下流の竜光地区の土石流に対する警戒・避難は新潟県砂防で実施、湯沢砂防は情報提供のみ
- ② 機器の準備範囲および情報の責任分界点を明確にすべきである。

問4-6 監視・観測項目選定にあたり検討した内容、参考にした事例、資料(災害情報システムの開発報告書 第Ⅲ巻 基幹施設編 [平成4年3月 建設省] 等)の有無？

業者からの提案によった。

5. その他

天然ダムの発生状況により対策の考え方が大きく異なる。即ち、天然ダムが単発する場合と群発する場合とでは、除石と捨て場所の確保、アクセス道路の確保等の条件が異なる。

16. 岩手・宮城内陸地震で発生した天然ダムの監視手法に関するアンケート結果

岩手・宮城内陸地震の天然ダム対応について、東北地整が実施したアンケート結果のうち、天然ダムの監視に関する事項を以下に抜粋した。

天然ダム対応について

I 天然ダムの調査

1. 箇所調査、発表

- 今回は午前中に天然ダム箇所の存在が確認できたので、先遣班へリ調査（3機）に砂防専門家が搭乗し調査すべき（今回は二日目から）
- 天然ダムが直轄管内ではなかったため、どこまで調査するのか分からなかった
- 天然ダムが直轄管内ではなかったため、大規模箇所の発表やその後の調査などが砂防部ライン主体となり、災害対策本部ラインへうまく伝わらなかった
- リアルタイム画像処理システムによる連続画像は大変役立った。発災後すぐに手配すべき
- 国土地理院からの資料（1/3万地図、写真）は調査やまとめに大変役にたった（被災二日目に提供）
- 衛星写真（精度20cm）を1年毎に入手すると地山変状を確認できる（被災後衛星写真は購入）
- 現地調査やセンサー設置などに異なる省庁がバラバラに現地入りしているが予め協力体制を作っておくべき

2. 規模の調査（LP）

- 被災翌日にLP測量を実施しており迅速な対応であった
- 被災前LPデータがないところが多く、天然ダム箇所の位置（箇所）特定、諸元設定が難しかった（精度にばらつきがあった）

3. 監視

- ヘリ調査計画及び水位センサーの監視計画を地震直後から作成し、被災1週間後に研究機関に計画のお墨付きをもらった
- 土木研究所で作成した「天然ダム監視技術マニュアル（案）」*は、今後以下のような補足等を望む。
 - ◆天然ダムによる監視はヘリコプターを基本にすべきではないか。（今回は広い範囲で天然ダムがあり道路が通行不能、また地震直後は余震等による落石も多く危険。）
 - ◆3. 1天然ダム状況の「基礎資料の確認・収集」の図面は、山間部は図面が整備されていないのでLP測量を早急を実施することを記載（被災前にも極力取っておく）
 - ◆4. 1天然ダム全体状況の監視・把握【監視カメラによる監視の留意点】にヘリによる運搬を検討してはどうか
 - ◆4. 2湛水位の監視 ①ヘリコプターからの目視による監視 に撮影時に毎回アングルを合わせることを望ましいことを記載した方が良い。
 - ◆5監視情報通信システムの選定 に行政機関や地域住民等幅広く監視情報を伝達するためインターネットのシステムが重要なことを記載した方が良い
 - ◆また、山間部においてアクセス道路がある訳ではないので、ヘリによる運搬を検討する必要があることを記載した方が良い
 - ◆巻末資料 1. 代表的な監視・観測機器の性能・規格に土研式投下型水位計の追加
 - ◆降雪期や融雪期の監視計画のポイントとひとくくりについて、内容補強して欲しい

* 岩手・宮城内陸地震時には本マニュアルの暫定版を配布した。

- ◆ヘリ調査のポイントの追加
 - ・なるべく同じ人が乗り比較する
 - ・調査頻度をどうするか？（考え方）
 - ・砂防専門家に一緒に見てもらふこと、指導してもらふこと
 - ・閉塞部下流面に漏水箇所が出来ないかの確認方法、留意点など
 - ・越流時の確認事項や一般への公表資料の作り方
- ◆ワイヤーセンサーの高さの分け
 - ・2本設置については記載があるが、工事用（1m）と住民避難用（2m）の分けなど
- ◆観測機や情報送信装置設置費の概算額
- ◆道路が通行不能な場所での水位監視方法の事例
- ◆山間部で電気や電話回線の無い場合の対応方法
- ◆市町村の避難基準の考え方
 - ・それに対する監視項目と頻度など
- ◆カメラによる画像監視は工事中は本省の指示で工事中継化され、監視が出来なくなるための使い分け
- ◆県や市へ情報提供の方法
 - ・局HP掲載や携帯電話へのメール転送など

○今回のような広範囲（直轄区域外も含む）被災時の初動体制の天然ダム対応マニュアルが必要

- ・被災からどのような体制を執りどのように対応していくかストーリーを作っておく必要がある。
- ・天然ダムが確認されれば監視体制が必要、よって通信電力等の確保を図る必要があるのでNTTや電力に働き掛ける等
- ・発電機の燃料搬入等でも工事関係と情通関係がそれぞれ搬入したのが現状→連携図れるはず
- ・他機関も含めワイヤーセンサーを多数設置しその情報を共有しようとしたが、インターフェイスが合わず改良作業に日数を要した→機器仕様の統一または周知等

○天然ダム箇所の位置（箇所）等について情報共有が不徹底

- ・本省の様々な部局から多様な情報や指示があり錯綜した

(1) ヘリコプター監視

- 同エリアに複数ヘリコプターが飛行し映像送信するため、輻輳し地上からの制御に苦慮→映像送信するヘリコプターを予め決めておく必要あり
- 監視結果（写真）は、関係事務所や県に周知し、県から注意箇所がある旨連絡あればスピーディに追加調査し報告した
- 民間のヘリを復旧で使用した際、航空局土日休みのため金曜日までに飛行申請をしなけりばならなかった（協力要請を今後検討）
- 自衛隊に事前に協力体制を呼びかけていたので、国交省ヘリが悪天候により飛行できない時は、早朝に飛行した自衛隊から写真の情報提供があった
- ヘリコプター（みちのく号）搭載カメラで写真撮影を予定していたが、飛行中に本部より画像を見たいということで、カメラ画像に切り換えられ写真が撮影できなかった（本部からの一方的な指示で当初予定の調査が実施できなかった）

(2) 画像監視

- 本省の情報伝達（指示）システムが統一されておらず現場が苦労した。
- Ku-SATは各事務所にて整備・所有している機器であるが、情報通信技術課で配置状況を整理していたことから現地搬入・ストックがスムーズにいった
→東北管内でバランスの取れた配置に出来れば、なお良い
- Ku-SATの電源である小型発電機の連続運転時間は5時間程度であることから運転保守に苦慮した
→72時間対応の小型発電機の事前配備が必要
また、トラブル発生時のバックアップ電源（バッテリー、燃料電池等）の配備検討も必要
- 湯ノ倉温泉地区へKu-SATを設営する際に、機材が故障し映像配信が遅くなった
→資機材の地上運搬が不可能な箇所については、あらかじめ予備資機材も含めて2セット準備・運搬することが必要
- 画像監視目的が明確に伝達されないケースが多く、撮影アングルの設定、あるいは変更を複数課から依頼される（本省からの直接電話指示もあり）
→映像はとりあえず配信するのではなく、目的（被災状況把握なのか被災者等への情報提供用なのか工事監視なのか）を明確にして映像配信する
※目的を明確にしないと本局業務で対応するか事務所業務で対応するかも決定出来ないことから指示システムを明確に出来ない（最終的にはテックフォース予算か災害予算かについての線引きも出来なくなる）
- 情報収集車（キャタピラ）による映像配信を実施したが、普通車に映像配信機能を追加し各県庁所在地に映像配信車を配備できると良い

(3) 水位・雨量監視

- Ku-SATを利用したデータ配信については、中越地震での活用されたシステムを利用することによりスムーズに対応できた（WS共通）
- しきい値を超えた場合のメール通知について、アドレスグループ変更を行った際に発報試験を実施しなかったところ、しきい値を超えても発報しなかった
→システム等の些細な内容変更についても動作確認は必ず実施する。
（※当初設定時（アドレスグループ変更前）に動作確認を行い問題が無かったことから必要無いと判断したものであるが、2つのしきい値の内、1つについてのみ変更していたことが原因であった）
- 天然ダム箇所の監視では水位観測が必要となるので、地整で水位計を準備しておくべき
- 特に今回のように土砂崩れによる通行止めの際に、ヘリで投下できるような土研式の水位計を全国の何処かに備えてあると良い

(4) 土石流センサー監視

- 土石流センサー（土木業者設置）とKu-SAT（電通業者設置）との接続がAB接点で合わなかった
→土木業者との打合せの実施による意思の疎通が必要。また、現地調査についても同行し全体（画像、水位、雨量、WS）監視計画を共有することが必要
- 土石流センサーの設置では、TEC-FORCE（経験者）の指導が役立った。（国総研）

(5) その他

- 現場との通信手段の確保の必要性あり（地整全体で約150台ある衛星携帯の利用）
- K-COSが思ったより利用価値あり、浅布地区ではK-COSだけは使えた
- 衛星携帯は南側に山があると不通
- 初期対応（調査など）について、経験者として本省や北陸地整の指導が役立った

土木研究所資料
TECHNICAL NOTE of PWRI
No.4121 December 2008

編集・発行 ©独立行政法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

独立行政法人土木研究所 企画部 業務課
〒305 - 8516 茨城県つくば市南原1 - 6 電話029 - 879 - 6754