

## はじめに

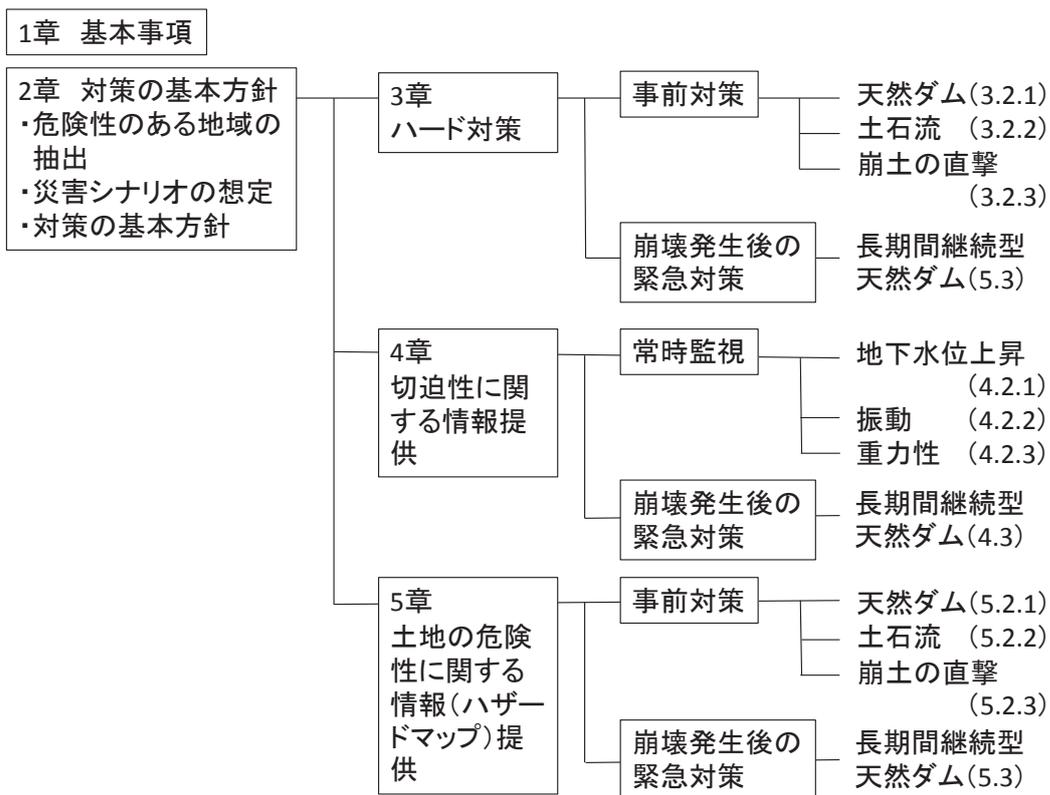
深層崩壊は、頻度は通常の土砂災害に比べて小さいものの、非常に規模が大きく、被害も甚大になる場合がある。一方、従来の砂防施設は、深層崩壊や深層崩壊に起因する天然ダム等に対して十分な耐力、規模を有しているとは言い難い場合も考えられる。また、土砂災害防止法に基づく基礎調査等に基づく土砂災害に関する土地の危険性に関する情報（ハザードマップ）は、深層崩壊に起因する土砂災害を十分に網羅できていない可能性がある。すなわち、深層崩壊に起因する被害を防ぐためには、従前の土砂災害対策では、不十分な可能性が考えられる。

そこで、深層崩壊による被害を減ずるためには、施設整備によるハード対策、深層崩壊発生の切迫性に関する情報に基づく避難、深層崩壊による被害に関する土地の危険性に関する情報（ハザードマップ）に基づく防災計画（避難所や防災拠点の場所の適正化など）などの対策をそれぞれ実施するのみならず、全ての対策を総動員する必要がある。また、深層崩壊による被害のうち、特に甚大な被害を引き起こすであろう非常に規模の大きい深層崩壊に対しては、物的被害等を完全になくすことは困難である。そのため、少なくとも人命は守るなど被害を完全になくすことが困難な場合であっても、前述のような対策を総動員し、被害を減ずる方策を検討すべきである。

そこで、本稿は、今後の深層崩壊対策の参考になるように、

- ① 施設整備によるハード対策
  - ② 切迫性に関する情報提供に基づく対策
  - ③ 土地の危険性に関する情報（ハザードマップ）提供に基づく対策
- に関する技術の基本的事項について整理したものである。

本稿の構成は図-1 に示す通りである。



図一 1 本稿の構成

# 1 基本事項

## 1. 1 対象とする現象

深層崩壊とは、土層のみならず、風化した岩盤も同時に崩れ落ちる崩壊現象のことをさす。

### 【参考文献】

深層崩壊の基本的な事項については、以下の文献が参考になる。

- 1) 砂防学会（2012）深層崩壊に関する基本事項に係わる検討委員会 報告・提言
- 2) 千木良雅弘（2013）深層崩壊，近未来社

## 1. 2 対象とする現象の分類

### 1. 2. 1 深層崩壊で生じた土石等の流下機構・形態による分類

深層崩壊に起因する土砂災害は、深層崩壊で生じた土石等の流下機構・形態により以下の通り分類できる。

#### ① 天然ダムタイプ

深層崩壊で生じた崩壊土砂により、いったん、天然ダムが生じ、その天然ダムの決壊にともない急激な水・土砂の流出が生じることにより被害が生じるタイプ。なお、天然ダムタイプにおいては、天然ダム上流域の湛水による被害が生じる場合もある。

#### ② 土石流タイプ

深層崩壊で生じた崩壊土砂が土石流化し、土石流により直接的な被害が生じるタイプ。

#### ③ 崩土の直撃タイプ

深層崩壊で生じた崩壊土砂が流下し、崩壊土砂により直接的な被害が生じるタイプ。

### 【解説】

各タイプの具体例としては以下のようなものがある。

- ①天然ダムタイプ 金剛寺（和歌山県旧花園村：昭和28年）  
東竹沢（新潟県旧山古志村：平成16年）
- ②土石流タイプ 集川（熊本県水俣：平成15年）

ドゾウ沢（宮城県栗原市：平成 20 年）

- ③崩土の直撃タイプ 大西山（長野県大鹿村：昭和 36 年），滝谷（三重県宮川村：平成 16 年），宇井（奈良県五條市：平成 23 年）

また，天然ダムタイプは，天然ダム形成から決壊までの時間により，大きく 2 つに大別することが可能である。1 つは，天然ダムを引き起こした降雨期間中またはその直後に決壊するタイプであり，2 つ目は，天然ダムを引き起こした降雨後，しばらく越流までに時間を要するなど，河道閉塞状態が長期間継続するタイプである。ここでは，前者を「短時間決壊型の天然ダム」，後者を「長期間継続型の天然ダム」と呼ぶ。また，地震によって生じる天然ダムの多くも「長期間継続型の天然ダム」に分類できる。

また，川沿いで発生した深層崩壊による土砂は，場合によっては対岸にまで達するおそれがある。さらに，増水した河川等に崩壊土砂が流入した場合は，川の流れを阻害するなど，対岸や上下流等においても被害が生じる場合がある。

#### 【参考文献】

深層崩壊の事例・被害の実態については，以下の文献が参考になる。

- 1) 土木研究所 火山・土石流チーム（2010）歴史的な大規模崩壊の実態，土木研究所資料 No.4169,
- 2) 土木研究所 火山・土石流チーム（2012）過去の深層崩壊事例について，[http://www.pwri.go.jp/team/volcano/deep\\_seated\\_landslides/deep\\_seated\\_landslides.htm](http://www.pwri.go.jp/team/volcano/deep_seated_landslides/deep_seated_landslides.htm)
- 3) 蒲原潤一・内田太郎・佐藤敏明・泉山寛明（2014）深層崩壊による土砂災害の被害形態について 平成 26 年度砂防学会研究発表会概要集 B 212-213

### 1. 2. 2 深層崩壊の発生要因による分類

深層崩壊に起因する土砂災害は，深層崩壊の発生要因の観点から，以下の通り分類できる。

- ① 急激な地下水位上昇による深層崩壊
- ② 地盤の揺れによる深層崩壊
- ③ 重力性の変形の進行による深層崩壊

なお，1 つの深層崩壊が複数の要因の影響を受けている場合も考えられる。

#### 【解説】

・急激な地下水位上昇による深層崩壊について

「急激な地下水位上昇による深層崩壊」とは，目立った前兆的な規模の大きい斜面変形（いわゆる岩盤クリープ等の比較的小規模な斜面変形は除く）がなく，豪雨・

融雪にともない発生する深層崩壊のことであり、深層崩壊を引き起こす急激な地下水位上昇の誘因としては、豪雨、融雪が考えられる。

・地盤の揺れによる深層崩壊について

「地盤の揺れによる深層崩壊」とは、目立った前兆的な規模の大きい斜面変形がなく、地震、火山活動等に起因して発生する深層崩壊のことである。

・重力性の変形の進行による深層崩壊について

深層崩壊の中には、発生前に規模の大きな降雨、融雪や地震が見られないにもかかわらず、発生する場合がある。このようなタイプの深層崩壊が発生する過程としては、経年的な重力性の変形の蓄積等のため、土層および岩盤が力学的なバランスを失うことにより、発生するものがある。この場合、重力性の変形の進行が主要因の1つと考えられる。例えば、深層崩壊の一部には、地すべり土塊の末端または地すべり土塊そのものが通常の緩慢な運動から、急激に崩落に至ることによって生じる深層崩壊のタイプがこれにあたる。

ただし、「急激な地下水位上昇による深層崩壊」、「地盤の揺れによる深層崩壊」においても、重力性の変形は深層崩壊発生前に一般的に生じていることが広く知られている。ここで言う「急激な地下水位上昇による深層崩壊」、「地盤の揺れによる深層崩壊」においても、重力性の変形の影響はあるものの、発生時刻を規定した直接的な要因が「急激な地下水位上昇」または「地盤の揺れ」であると考えられるものを、それぞれ「急激な地下水位上昇による深層崩壊」、「地盤の揺れによる深層崩壊」と分類することとする。

一方、重力性の変形の進行には、地下水など様々な要因が関与していると考えられる。このため、重力性の変形の進行による深層崩壊においても、地下水の影響はあるものの、「急激な地下水位上昇による深層崩壊」とは異なり、発生時刻を規定するような直接的な大規模な降雨や融雪による「急激な地下水位上昇」が明瞭ではない。

各タイプの具体例としては以下のようなものがある。

① 急激な地下水位上昇による深層崩壊

- ・平成23年台風12号による紀伊半島における深層崩壊
- ・濁沢（山形県旧立川町：平成5年）

② 地盤の揺れによる深層崩壊

- ・平成20年岩手・宮城内陸地震による深層崩壊

③ 重力性の変形の進行（地すべり）による深層崩壊

- ・宇井（奈良県旧大塔村：平成16年）

## 2 対策の基本方針の策定

### 2. 1 概論

深層崩壊のおそれが高いと考えられる地域において、地域ごとに、対象地域で将来生じる可能性がある深層崩壊による災害シナリオを想定し、ハード対策、ソフト対策を効果的に組み合わせた深層崩壊対策の基本方針を策定し、対策を実施する。

### 2. 2 危険性のある地域の抽出

過去の深層崩壊の発生状況を基に深層崩壊のおそれが高いと考えられる地域を抽出する。

#### 【解説】

深層崩壊のおそれが高いと考えられる地域は、

- ・ 深層崩壊推定頻度マップ
- ・ 深層崩壊跡地密度マップ

を参照する。

#### 【参考文献】

深層崩壊推定頻度マップについては、以下を参照する。

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局 砂防部（2010）深層崩壊推定頻度マップ  
<http://www.mlit.go.jp/common/000121614.pdf>, 参照 2014-4-1

深層崩壊跡地密度マップについては、以下を参照する。

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局 砂防部（2012）深層崩壊跡地密度 マップ,  
<http://www.mlit.go.jp/common/000223656.pdf>, 参照 2014-4-1

## 2. 3 災害シナリオの想定

### 2. 3. 1 地域内の危険度評価

検討対象地域において、深層崩壊発生の危険度が高いと考えられる箇所、流域を把握する。

#### 【解説】

深層崩壊発生の危険度が高いと考えられる箇所、流域の把握には、「深層崩壊の恐れのある溪流抽出マニュアル(案)」を用いる。

#### 【参考文献】

- 1) 土木研究所 火山・土石流チーム (2008) 深層崩壊の発生の恐れのある溪流抽出マニュアル(案), 土木研究所資料, 第 4115 号

### 2. 3. 2 被害の概略推定

前項で評価した深層崩壊発生の危険度が高いと考えられる箇所、流域において、深層崩壊が発生した場合に生じうる現象・被害を想定する。

非常に規模が大きい降雨時などでは、同一地域に複数の深層崩壊が発生する場合もある。また、「1. 2. 1 深層崩壊で生じた土石等の流下機構・形態による分類」の①～③の現象が同一地域内で同時に複数生じる場合もある。さらに、同時に複数の深層崩壊が生じる場合に被害が拡大する可能性も高い。そこで、被害の概略推定にあたっては、同時に複数の深層崩壊が発生する場合についても考慮する。

#### 【解説】

- ・既往実績に基づく被害の概略推定手法

深層崩壊が発生した場合に生じる現象・被害を想定するにあたっては、現時点では、将来を予測する十分な手法がないため、既往実績を基にしてもよい。このとき、当該箇所・流域と同様な地形、地質、気候等条件を有する周辺地域で過去に発生した深層崩壊と同程度の規模の深層崩壊が発生し、過去の深層崩壊と同様な流下形態の現象が生じると想定する。

既往実績を基にするにあたっては、

- ・文献による調査
- ・過去の複数時期の空中写真判読
- ・空中写真判読による深層崩壊跡地等の調査結果

により、以下の a.～f.の項目を明らかにすることを基本とする。

- a. 深層崩壊発生時期
- b. 深層崩壊発生場所
- c. 深層崩壊規模
- d. 深層崩壊の発生要因（1.2.2の深層崩壊の発生要因による分類に従い分類）
- e. 流下・被害発生形態（1.2.1の深層崩壊で生じた土石等の流下機構・形態による分類に従い分類）
- f. 被害発生範囲

また、d.において、豪雨による深層崩壊については、深層崩壊を引き起こした豪雨の規模について整理する。e.において、天然ダムタイプの可能性が考えられた場合は、天然ダムの継続時間（長期間継続型か短時間決壊型か）についても検討することが望ましい。また、f.においては、数値計算も活用できる。

その上で、a.～f.から、深層崩壊の規模ごとの発生頻度、被害形態ごとの発生頻度を把握し、深層崩壊が発生した場合に

- ① 生じる可能性が高い現象・被害
- ② 生じる可能性が考えられる現象・被害

を想定する。②は、①より発生頻度は低いものの、①より甚大な被害現象を想定する。具体的には、①は、当該地域において、過去概ね100年以内に発生した災害と同等規模程度を想定し、②は、当該地域およびその周辺において発生した既往最大規模を想定する。文献等の情報に基づき、②の想定を行う場合、過去概ね1000年オーダーの期間に発生した現象と同等規模程度の現象を対象とすることとし、地質年代（数万年オーダー及びそれ以上以前）等で起きた現象までは対象としない。

#### ・既往実績に関する調査手法

「過去概ね100年以内に発生した災害」に関する調査は、文献による調査に加えて、旧版地形図、複数時期の空中写真を活用し、発生時期、規模を特定する手法が有効であると考えられる。一方、「過去概ね1000年オーダーの期間に発生した現象」に関する調査は、文献による調査に加えて、空中写真による崩壊跡地判読とテフラクロノロジー等による崩壊発生年代に関する調査が有効であると考えられる。

#### ・既往実績に基づく手法における留意事項

既往実績に基づき災害シナリオを想定する場合、対象地域において空中写真の撮影された時期や文献が書かれた時期にたまたま大きな降雨・地震が生じておらず、深層崩壊の実績が明らかではない場合がある。しかし、このような場合であっても今後、大きな降雨・地震が生じた場合には、深層崩壊が発生する可能性がある。また、深層崩壊が発生しているものの、何らかの理由で文献等に記録も残っていない場合も考えられる。そこで、既往実績を基に被害の概略推定を行う場合、検討対象

とする流域・地域を狭い範囲に限定せずに、地形・地質・隆起量・気候条件などの条件が概ね類似していると考えられる地域に検討対象地域を拡大することが必要となる場合があることに留意する。

・空中写真判読による深層崩壊跡地の調査結果活用に関する留意事項

空中写真や旧版地形図が整備される以前の 100 年から 1000 年オーダーの既往実績を調べるにあたっては、空中写真判読等による深層崩壊跡地の抽出が有効であると考えられる。特に、深層崩壊の規模や発生しやすい箇所、流下形態（天然ダム形成の有無、土石流化の有無など）などの当該地域の深層崩壊の特徴を把握する上で有効な情報が空中写真判読から得られる。ただし、どの程度古い時期に発生した深層崩壊まで深層崩壊跡地として空中写真判読により抽出できるかについては十分な知見が無く、数 1000 年以上前に発生した深層崩壊も含まれている可能性があることに留意し、空中写真判読による深層崩壊跡地の調査結果を活用する必要がある。

・詳細調査に基づく手法

既往実績によらず、詳細な調査に基づき、深層崩壊のおそれのある斜面の位置・規模を想定することが可能な場合、これを用いることが望ましい。深層崩壊のおそれのある斜面の位置・規模の想定に資すると考えられる手法として、

- ① 空中写真・レーザープロファイラ等による小規模な斜面変形に関する調査
- ② ボーリング調査、空中電磁探査等による地盤構造調査
- ③ 水質水文調査による地下水理構造、地下水流動に関する調査

などが近年提案されている。ただし、これらの手法については、精度の確認、汎用性の検証など更なる検証を必要とする部分がある。

【参考文献】

既往実績に基づく手法については、以下の文献が参考になる。特に、文献に基づく調査事例としては 1)の文献が、旧版地形図、複数時期の空中写真を活用した発生時期の調査事例については 2)の文献が、テフラクロロジーに基づく調査事例については 3)の文献が、それぞれ参考になる。

- 1) 今村隆正・内田太郎・山越隆雄・武澤永純・横山修・彌富涼子（2012）十津川災害（明治 22 年）と吉野郡水災誌，平成 24 年度砂防学会研究発表概要集, p.456-457
- 2) 内田太郎・泉山寛明・林真一郎・丹羽諭・井戸清雄・佐藤敏明・若林栄一・蒲原潤一（2014）深層崩壊の発生確率評価手法に関する検討，砂防学会誌平成 24 年度砂防学会研究発表概要集, p.456-457
- 3) 五味高志・平岡真合乃・横山修・山越隆雄・石塚忠範・内田太郎・南光一樹（2012）深層崩壊の発生頻度の推定方法検討：鰐塚山の事例，平成 24 年度 砂防学会研究

発表会概要集, p.328-329

詳細調査の事例については、以下の文献が参考になる。

- 1) 千木良雅弘 (2013) 深層崩壊, 近未来社
- 2) 千木良雅弘 (2006) 地すべり・崩壊の発生場所予測—地質と地形からみた技術の現状と今後の展開—, 土木学会論文集 C, 62(4), 722-735.
- 3) 横山修・内田太郎・中野陽子・石塚忠範・笠井美青・鈴木隆司 (2012) レーザー測量データを用いた岩盤クリーブ斜面の表面形状把握, 砂防学会誌, 64(6), 13-24
- 4) 地頭菌隆・下川悦郎・寺本行芳 (2006) : 深層崩壊発生場予測法の提案, 砂防学会誌, 59(2), 5-12
- 5) 鈴木隆司・内田太郎・田村圭司 (2009) : 深層崩壊発生斜面の特定に向けた地盤構造調査法, 土木技術資料, 51(7), 8-13.
- 6) 砂防学会 (2014) 深層崩壊の発生危険斜面抽出手法および避難基準策定手法の開発, 河川砂防技術研究開発報告書
- 7) 地頭菌隆 (2014) 渓流水の電気伝導度を用いた深層崩壊発生場の予測, 砂防学会誌, 66(6), 56-59.

## 2. 4 対策の基本方針

検討対象地域において、前項で想定した災害シナリオに対して、ハード対策、ソフト対策を効果的に組み合わせた深層崩壊対策の基本方針を策定する。

### 【解説】

前項で想定した深層崩壊が発生した場合の

- ① 生じる可能性が高い現象・被害
- ② 生じる可能性が考えられる現象・被害

の2つの災害シナリオに対して、ハード対策、ソフト対策を効果的に組み合わせた深層崩壊対策の基本方針を検討する。また、「砂防事業の費用便益分析マニュアル（案）」を参考に、ハード対策は、基本的には、①のシナリオを対象とし、施設の配置、規模を決定する。一方、ソフト対策は、①のみならず②を含む全ての深層崩壊に起因する土砂災害を対象とすることを基本とする。

基本方針を策定するにあたっては、

- a. 保全対象の位置、重要性
- b. 地域としての防災性向上
- c. 既存設備の設置状況
- d. ハード対策の実現性・冗長性
- e. 緊急対策の可能性
- f. ソフト対策（避難）の実効性

を勘案する。現時点では、深層崩壊の規模を精度良く予測することが困難であるため、c.においては、②の深層崩壊が発生した場合に生じる可能性が考えられるシナリオにおいても、施設が被害を増長させるようなことがないように考え、基本方針を策定する。また、d.の冗長性の有するハード対策とは、①のシナリオに対して設置した施設であっても、②のシナリオのような災害が生じた場合、災害を完全に防ぐことができずとも、災害の程度を軽減するような設備による対策のことであり、ハード対策においては、②のシナリオのような災害にも効果が発揮できるよう、冗長性を有する施設配置、構造とすることが望ましい。また、天然ダムのタイプのうち、長期間継続型は、天然ダム形成後の緊急的な対応も可能なことから、緊急的な対応（ハードおよびソフト対策）を主な対策とし、必要に応じて、事前のハード対策を組み合わせることとする。

### 【関連通達等】

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部（2012）：砂防事業の費用便益分析マニュアル（案）

## 3. ハード対策

### 3. 1 概論

#### 3. 1. 1 基本的考え方

##### (1) 現象に応じた対策

深層崩壊に起因する土砂災害に対するハード対策の計画の立案において、対策施設に求める機能や外力の設定手法は、深層崩壊で生じた土石等の流下機構・形態に強く依存する。そのため、計画対象とする現象を「1. 2. 1 深層崩壊で生じた土石等の流下機構・形態による分類」に従い決定し、土石等の流下機構・形態に則した対策手法を用いることが重要である。

ハード対策においては、現地の地形条件、地域計画、景観、環境等を総合的に勘案して合理的かつ効果的なものとする。また、深層崩壊で生じた土石等の流下機構・形態を1つに決定することは困難である場合も多く、複数の現象に対して効果が発揮できる施設および施設配置が望ましい。さらに、深層崩壊のおそれのある地域であっても、深層崩壊以外による土砂災害も生じる可能性があることから、深層崩壊以外の現象に効果が発揮できる施設および施設配置が望ましい。

##### (2) 計画規模の設定

事前のハード対策の計画規模は、当該地域において、過去概ね100年以内に発生した現象と同程度の現象（規模）を対象とすることを基本とする。ただし、現地調査等により、発生危険性が高いと考えられる深層崩壊の規模が把握できる場合はこれを対象とすることもできる。

##### (3) 既存計画との関係

対象流域・溪流において、砂防基本計画（水系砂防、土石流・流木対策）に基づき、施設配置計画（以下、「既往施設配置計画」と呼ぶ）が策定されている場合は、既往施設配置計画に基づき施設配置が行われた場合を対象に、計画対象規模の深層崩壊に起因する土砂災害に関する被害推定を行う。既往施設配置計画では、計画対象規模の深層崩壊による土砂災害を防止できない場合は、追加の施設配置及び施設の規模の見直しを実施する。

#### 【解説】

既往施設配置計画に基づき施設配置が行われた場合を対象に、計画対象規模の深

層崩壊に起因する土砂災害に関する被害推定については、次節に示した手法に従い実施する。

#### (4) 既存施設の有効活用

対象流域・溪流内に既存の砂防設備がある場合は、これらを有効活用する。有効活用するにあたっては、以下の観点の検討を行う。

- ① 当該施設にどのような機能・効果が期待できるか？
- ② 当該施設が深層崩壊に起因する土砂移動現象による外力に耐えうる施設かどうか？

その上で、当該施設に期待できる機能・効果は大きい深層崩壊に起因する土砂移動現象による外力に耐えられないと判断した場合は補強を検討する。

#### 【解説】

既存施設に期待できる機能・効果（①に対応）及び外力に対する安定性（②に対応）の検討についての検討は、次節に示した手法に従い、実施する。

#### (5) 大規模現象への対応

深層崩壊に起因する土砂災害の一部は、非常に規模が大きい。このような場合も想定し、施設により完全に災害を防げなくとも、減ずることができるような施設および施設配置を検討する。被害を減ずることができるような施設および施設配置を行う場合、必要に応じて、ソフト対策と組み合わせて、被害を軽減することとする。

さらに、非常に規模が大きい降雨時などでは、同一地域に複数の深層崩壊が発生し、「1. 2. 1 深層崩壊で生じた土石等の流下機構・形態による分類」の①～③の現象が同一降雨内で生じる場合もある。

#### 【解説】

非常に規模が大きい深層崩壊に起因する土砂災害を完全に防げなくとも減ずることができるような施設等については更なる研究・技術開発が必要である。

### 3. 1. 2 位置付け

深層崩壊に関するハード対策は、河川砂防技術基準における砂防基本計画における深層崩壊・天然ダム等異常土砂対策として実施する。

### 【解説】

砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）では、深層崩壊に起因する土石流は対象から除外されている。

### 【関連通達等】

- 1) 国土交通省 河川局 監修（2005）河川砂防技術基準及び同解説・計画編
- 2) 国土交通省 水管理・国土保全局（2014）河川砂防技術基準（調査編）  
[http://www.mlit.go.jp/river/shishin\\_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/chousa/pdf/00.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/chousa/pdf/00.pdf), 参照 2014-9-1
- 3) 国土技術政策総合研究所 砂防研究室（2007）砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）及び同解説，国土技術政策総合研究所資料第 364 号。

## 3. 2 事前のハード対策

### 3. 2. 1 天然ダムタイプ

#### (1) 天然ダムタイプのハード対策に関する特徴

天然ダムタイプは、大量の土砂および水が流下・堆積するため、外力が深層崩壊直下では極めて大きくなると考えられ、影響範囲は「崩土の直撃タイプ」、  
「土石流タイプ」に比べると大きい場合が多い。

一方、天然ダム決壊による土砂流出では、一般に土砂濃度は低く、天然ダム決壊にともなう土石流・洪水流を制御する施設は、土砂の捕捉とともに、泥水の処理が極めて重要となる。特に、下流域において、対策を実施する場合は泥水の処理が主たる対策事項となる。また、このタイプにおいては、天然ダム直下では、短時間でピーク流量の大きい土石流（洪水）波形となると考えられるが、長距離流下するに従い、ピーク流量が徐々に小さくなると考えられる。

さらに、このタイプは、短時間決壊型と長時間継続型の2つのタイプがある。このため、深層崩壊発生前に実施する事前対策と天然ダム形成後に実施する緊急対策の2つが考えられ、緊急対策は3.3を参照する。

#### 【解説】

2.4にも示したように、天然ダムのタイプのうち長期間継続型は、天然ダム形成後の緊急的な対応も可能なことから、緊急的な対応（ハードおよびソフト対策）を主な対策とし、必要に応じて事前のハード対策を組み合わせることとする。

#### 【参考文献】

天然タイプの実態については、以下の文献が参考になる。

- 1) 田畑茂清・水山高久・井上公夫著（2002）天然ダムと災害，古今書院
- 2) 森 俊勇・坂口哲夫・井上公夫編著（2011）日本の天然ダムと対応策，古今書院

#### (2) 天然ダムタイプに対するハード対策の種類と機能

天然ダムタイプに対する事前のハード対策は、以下に大別される。

- 1) 深層崩壊の発生を抑制・抑止する施設
- 2) 深層崩壊が生じた場合に天然ダムの高さを減ずる施設
- 3) 天然ダムが生じた場合に急激な決壊を抑制する施設
- 4) 天然ダム決壊により土石流・洪水流が生じた場合に土砂・泥水の流出を制御する施設
- 5) 天然ダムが生じた場合の速やかな緊急対策実施に資する施設

## 【解説】

### 1) 深層崩壊の発生を抑制・抑止する施設

深層崩壊の発生を抑制・抑止する施設のうち、斜面を直接的に対策する施設については、重力性の変形の進行による深層崩壊をのぞき、現時点で十分な技術開発が行われているとは言い難い。重力性の変形の進行による深層崩壊に対する施設については、「3.2.3.(2)崩土の直撃タイプに対するハード対策の種類と機能」を参照する。

一方、河道の側方斜面の下部に深層崩壊のおそれのある斜面がある場合、水衝部の側岸侵食を防ぐなどの山脚固定が期待できる砂防堰堤が有効であると考えられる。

### 2) 深層崩壊が生じた場合に天然ダムの高さを減ずる施設

深層崩壊に起因する天然ダムは、側岸斜面が崩壊して河道に土塊が流入し天然ダムを形成する場合（例 東竹沢（新潟県旧山古志村：平成16年））に加えて、本川に接続する支溪内で発生した深層崩壊が土石流化するなどし、本川に流入し、天然ダムを形成する場合（例 横手谷（熊本県五木村：昭和38年））がある。この場合、天然ダムの高さを減ずるために、支溪内に深層崩壊に起因する土石流等の捕捉・規模を減ずる施設を配置することが有効である。

また、天然ダムを形成するおそれのある区間の河床を上昇させることにより、川幅を広げておくことができれば、深層崩壊が発生したとしても天然ダムの高さを減ずることができると考えられる。代表的なものとして不透過型の砂防堰堤が考えられる。

### 3) 天然ダムが生じた場合に急激な決壊を抑制する施設

天然ダムが生じた場合に急激な決壊を抑制する施設としては、事前対策施設と緊急対策時に設置する施設が考えられる。

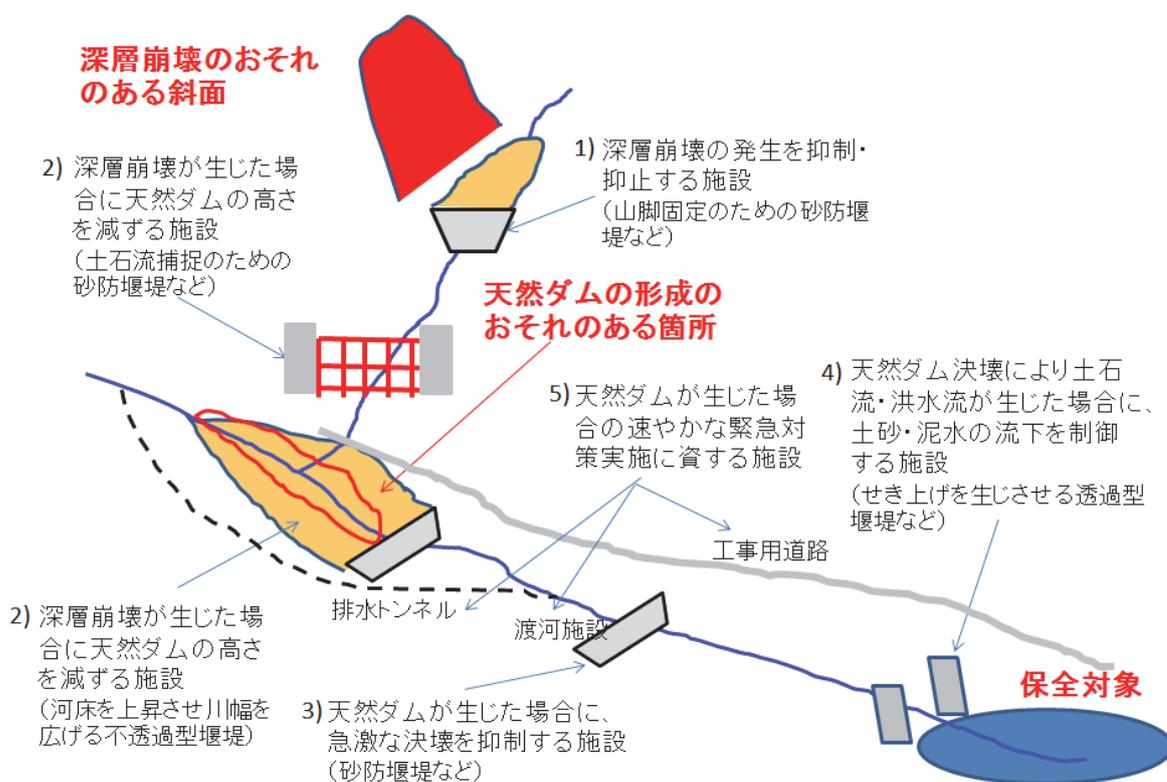
事前対策の施設としては、天然ダムが越流等により侵食された場合に、天然ダム直下に土砂を堆積させ、侵食の進行を緩やかにする施設がある。代表的なものとして、土砂を捕捉・堆積させる砂防堰堤が考えられる。

### 4) 天然ダム決壊により土石流・洪水流が生じた場合に土砂・泥水の流下を制御する施設

天然ダム決壊により土石流・洪水流が生じた場合に土砂・泥水の流下を制御する施設は、ピーク流量を減少させ、下流の河道でピーク流量が流下可能となるようにするために用いる。代表的なものとして、せき上げタイプの透過型砂防堰堤が考えられる。

5) 天然ダムが生じた場合の速やかな緊急対策実施に資する施設

天然ダムが生じた場合に速やかな緊急対策実施に資する施設としては、①天然ダムが形成した際の掘削等が速やかに進むように資機材の運搬に資する施設、②湛水・天然ダムの決壊を遅らせ、速やかな工事に資する排水路などが考えられる。①は、工事用車両アクセス用の道路、渡河施設、資機材運搬用のヘリコプターの離着陸地などが考えられる。②は、トンネル状の排水路、通水性護岸等が考えられる。



図ー2 天然ダムタイプのハード対策のイメージ

(3) 施設配置の考え方及び施設の効果評価

天然ダムタイプに対するハード対策の施設配置・効果評価は、3.2.1.(2)の1)～5)の施設を適切に配置し、数値計算等を用いて、施設配置計画の妥当性を検討する。

## 【解説】

### 1) 天然ダム決壊により土石流・洪水流が生じた場合に土砂・泥水の流下を制御する施設の配置

複数の深層崩壊のおそれのある斜面が存在するような溪流では、保全対象の直上に天然ダム決壊により土石流・洪水流が生じた場合であっても、土砂・泥水の流下を制御する施設を設置できれば様々な場所で発生する深層崩壊に対して、被害を防止できることが期待できる。このため、流域面積が広く、複数の深層崩壊のおそれのある斜面が存在するような流域では、明らかに深層崩壊のおそれが高い斜面を特定できない限りは、天然ダム決壊により土石流・洪水流が生じた場合に土砂・泥水の流下を制御する施設を設置することが、効率的である。

### 2) 深層崩壊が生じた場合に天然ダムの高さを減ずる施設・天然ダムが生じた場合に、急激な決壊を抑制する施設の配置

想定される天然ダムの決壊による土石流・洪水流の規模が非常に大きいなど、土石流・洪水流の全てを制御することが困難な場合は、天然ダムの規模を減ずる施設及び天然ダムの急激な決壊を抑制する施設設置についても検討する。特に、深層崩壊のおそれが高い斜面・支渓、天然ダムを形成するおそれの高い区間をある程度特定できる場合、これらの施設の配置が有効であると考えられる。

### 3) 深層崩壊の発生を抑制・抑止する施設の配置

深層崩壊のおそれが高い斜面をある程度特定でき、河道の側方斜面の下部に深層崩壊のおそれのある斜面がある場合、山脚固定が期待できる砂防堰堤などの深層崩壊の発生を抑制・抑止する施設の配置が有効であると考えられる。

### 4) 天然ダムが生じた場合の速やかな緊急対策実施に資する施設

天然ダムが生じた場合の速やかな緊急対策実施に資する施設のうち、天然ダムが形成した際の掘削等が速やかに進むように資機材の運搬に資する施設は、豪雨や大規模地震後であっても、機能を発揮しうる場所に配置する必要がある。

### 5) 施設配置の検討及び効果評価

天然ダムタイプの対策施設のうち、

- ・深層崩壊が生じた場合に天然ダムの高さを減ずる施設
- ・天然ダムが生じた場合に急激な決壊を抑制する施設
- ・天然ダム決壊により土石流・洪水流が生じた場合に土砂・泥水の流出を制御する施設

の配置計画の検討・効果評価にあたっては、以下の a.~c.のプロセス及び対策施設の効果を表現できる数値計算手法を用いる。

- a. 崩壊土砂および土石流の流下・堆積による天然ダムの形成
- b. 天然ダムの越流侵食等による決壊
- c. 天然ダムの決壊に起因する土石流・洪水流の流下

a.のプロセスを表現できる数値計算手法は、深層崩壊に起因する土石流に関する数値計算手法（3.2.2(3)参照）または崩壊土砂の挙動に関する数値計算手法（5.2.3 参照）を用いる。また、b 及び c のプロセスのみ評価する場合には、天然ダムの形状は、既往の実績により設定することもできる。

一方、

- ・深層崩壊の発生を抑制・抑止する施設
- ・天然ダムが生じた後の速やかな緊急対策実施に資する施設

については、被害の発生頻度・程度を減ずる効果が期待されるが、定量的な効果評価のためには更なる研究・技術開発が必要である。

#### 【参考文献】

b.の天然ダムの越流侵食等による決壊のプロセスおよび c. の天然ダムの決壊に起因する土石流・洪水流の流下のプロセスに関する数値計算手法については、以下の文献が参考になる。

- 1) 高橋保・匡尚富（1988）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(B-2)，601-615.
- 2) 里深好文・吉野弘祐・水山高久・小川紀一郎・内川龍男・森俊勇（2007）天然ダムの決壊に伴う洪水流出の予測手法に関する研究，水工学論文集，51，901-906.
- 3) 田村圭司・内田太郎・吉野弘祐・森 俊勇・里深好文（2010）岩手宮城内陸地震で発生した天然ダムの越流侵食状況の数値シミュレーション，土木技術資料，52（2），6-9.
- 4) 森 俊勇・坂口哲夫・井上公夫編著（2011）日本の天然ダムと対応策，古今書院
- 5) 吉野弘祐（2012）天然ダムの越流侵食の予測手法に関する研究，京都大学学位論文

#### (4) 外力推定・施設設計の考え方

天然ダムタイプに対するハード対策の施設設計は施設の期待する機能が発現するように設計する。

特に、「深層崩壊が生じた場合に天然ダムの高さを減ずる施設」のうち、崩壊土砂・土石流が直接作用するおそれのある施設は、深層崩壊に起因する崩壊土砂・土石流の外力に対して安定性を損なわない施設とする。深層崩壊に起因

する崩壊土砂・土石流の外力については、数値計算等を用いて検討する。

また、「天然ダム決壊により土石流・洪水流が生じた場合に土砂・泥水の流出を制御する施設」は、天然ダムの決壊により生じる洪水流の外力に対して安定性を損なわない施設とし、洪水流の外力については、数値計算等を用いて検討する。

#### 【解説】

##### 1) 深層崩壊に起因する土石流の外力に対して安定性を損なわない施設の設計

深層崩壊に起因する土石流の外力に対して安定性を損なわない施設の設計については、3.2.2(4)を参照する。

##### 2) 天然ダムの決壊により生じる洪水流の外力に対して安定性を損なわない施設の設計

天然ダムの決壊により生じる洪水流の外力に対して安定性を損なわない施設の設計は基本的には、砂防基本計画の水系砂防における施設の設計に準じる。深層崩壊地から当該対策施設まで距離が十分にある場合などは、設計の対象とする洪水流の規模が砂防基本計画の水系砂防の計画規模と同等程度またはそれ以下になる可能性が考えられる。ただし、対象施設の位置が河床勾配から見て土石流区間にあたる場合、砂防基本計画の土石流・流木対策における施設の設計に準じる。

天然ダムの決壊により生じる洪水流の外力に対して安定性を損なわない施設の設計に用いる外力の算出に関する数値計算手法は前項の天然ダムタイプに対する対策施設の配置の検討に用いる数値計算手法と同様とする。

さらに、設計の対象とする外力の規模が砂防基本計画の水系砂防または土石流・流木対策の計画規模を大きく上回る可能性がある。この場合の施設設計手法については、更なる研究・技術開発が必要である。

#### 【参考文献】

砂防基本計画の水系砂防における施設の設計について1)の文献が、土石流・流木対策については、2)の文献が参考になる。

##### 1) 河川砂防技術基準（設計編）

##### 2) 土石流・流木対策施設設計指針及び同解説（2007）国土技術政策総合研究所資料第365号.

### 3. 2. 2 土石流タイプ

#### (1) 土石流タイプのハード対策に関する特徴

土石流タイプは、大量の土砂が流下・堆積するため、外力が深層崩壊直下では極めて大きくなると考えられ、影響範囲は「崩土の直撃タイプ」に比べると大きいものの、「天然ダムタイプ」に比べると小さいことが多い。

また、崩壊土砂がそのまま土石流化する場合、土石流中の土砂濃度は極めて高いため、勾配が緩くなると急激に土砂が堆積すると考えられる。その結果、上流では、外力が非常に大きくなり、施設による対策が困難な場合であっても、下流では外力が比較的小さくなる可能性が考えられる。すなわち、深層崩壊から保全対象までの距離を利用した対策が有効であると考えられる。

#### 【参考文献】

近年の土石流タイプの実態については、以下の文献が参考になる。

- 1) 武澤永純・内田太郎・鈴木隆司・田村圭司(2009)鹿児島県船石川で発生した深層崩壊に起因する土石流の推定, 砂防学会誌, 65(6), 22-29.
- 2) Nishiguchi, Y., Uchida, T., Takezawa, N., Ishizuka, T., Mizuyama, T. (2012) Runout characteristics and grain size distribution of large-scale debris flows triggered by deep catastrophic landslides, International Journal of Erosion Control Engineering, 5, 19-26
- 3) 内田太郎・岡本敦(2013)崩壊土砂の流動化量に関する一考察, 土木技術資料, 55(7), 32-35

#### (2) 土石流タイプに対するハード対策の種類と機能

土石流タイプに対するハード対策施設は、以下に大別される。

- 1) 深層崩壊の発生を抑制・抑止する施設
- 2) 深層崩壊により土石流が生じた場合に土石流を捕捉する施設
- 3) 深層崩壊により土石流が生じた場合に土石流の規模を減ずる施設

#### 【解説】

- 1) 深層崩壊の発生を抑制・抑止する施設

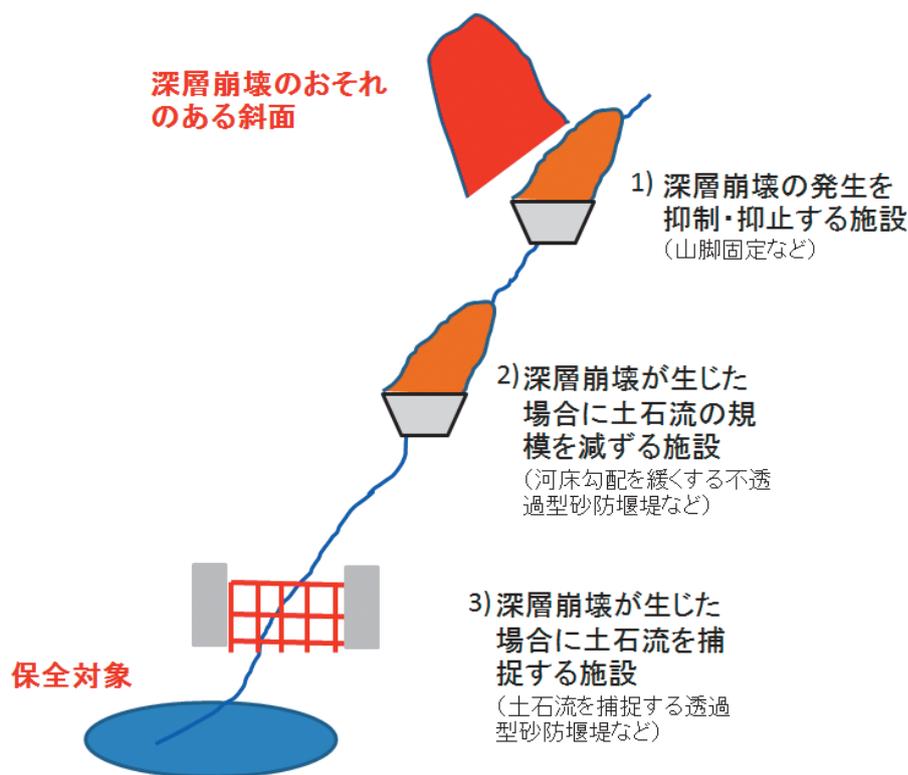
3.2.1(2)を参照する。

- 2) 深層崩壊により土石流が生じた場合に土石流を捕捉する施設

深層崩壊により土石流が生じた場合に土石流を捕捉する施設は、通常の土石流対策同様、空き容量を常に確保した砂防堰堤等である。代表的なものとして透過型の土石流対策堰堤が考えられる。

### 3) 深層崩壊により土石流が生じた場合に土石流の規模を減ずる施設

深層崩壊に起因する土石流は一般的に土砂濃度が高く、緩勾配区間においては、土砂が急激に堆積し、土石流の規模が減ずると考えられる。そこで、深層崩壊により土石流が生じた場合に土石流の規模を減ずる施設は河床勾配を緩くする施設で、代表的なものとして不透過型の砂防堰堤が考えられる。ただし、不透過型の砂防堰堤であっても、急勾配で堆砂した後は、緩勾配となるよう除石する必要がある。



図ー3 土石流タイプのハード対策のイメージ

### (3) 施設配置の考え方及び施設の効果評価

土石流タイプに対するハード対策の施設配置・効果評価は、3.2.2.(2)の1)~3)の施設を適切に配置し、数値計算等を用いて、施設配置計画の妥当性を検討する。

#### 【解説】

#### 1) 深層崩壊により土石流が生じた場合に土石流を捕捉する施設の配置

複数の深層崩壊のおそれのある斜面が存在するような溪流では、深層崩壊が発生

したとしても土石流を捕捉できるように施設を保全対象の直上に設置できれば様々な場所で発生する深層崩壊に対して、被害を防止できることが期待できる。このため、流域面積が広く、複数の深層崩壊のおそれのある斜面が存在するような溪流では、明らかに深層崩壊のおそれが高い斜面を特定できない限りは、深層崩壊により土石流が生じた場合に土石流を捕捉する施設を保全対象直上に設置することが、効率的である。

また、深層崩壊地から対策施設まで距離がある場合は、多くの土砂が流下中に堆積することにより、土石流の規模が小さくなることが期待でき、外力が比較的小さくなる可能性が高い。

## 2) 施設の配置の考え方

想定される土石流の規模が非常に大きいなど、土石流を全て捕捉することが困難な場合は、土石流の規模を減ずる施設の設置についても検討する。さらに、保全対象の直上に、土石流を捕捉する施設を設置する場合であっても、土石流の規模を減ずる施設を設置できれば、保全対象の直上の土石流を捕捉する施設に加わる外力を小さくすることができる。さらに、深層崩壊のおそれが高い斜面をある程度特定でき、河道の側方斜面の下部に深層崩壊のおそれのある斜面がある場合、山脚固定が期待できる砂防堰堤などの深層崩壊の発生を抑制・抑止する施設の配置が有効であると考えられる。

## 3) 施設配置の検討及び効果評価

土石流タイプの対策施設のうち、

- ・深層崩壊により土石流が生じた場合に土石流を捕捉する施設
- ・深層崩壊により土石流が生じた場合に土石流の規模を減ずる施設

の配置計画の検討・効果評価にあたっては、土石流の流下・堆積過程のプロセス及び対策施設の効果を表現できる数値計算法を用いる。

一方、深層崩壊の発生を抑制・抑止する施設については、保全対象における被害の頻度を減ずると考えられるが、定量的な効果評価のためには、更なる研究・技術開発が必要である。

## 【参考文献】

土石流タイプに対する対策施設の配置の検討に用いる数値計算法については、以下の文献が参考になる。

- 1) 土木研究所 火山・土石流チーム (2012) 深層崩壊に起因する土石流の流下・氾濫計算マニュアル (案), 土木研究所資料, 第 4240 号

対策施設の効果評価に関する数値計算手法については、以下の文献が参考になる。

- 1) 里深好文・水山高久 (2005) 砂防ダムが設置された領域における土石流の流動・堆積に関する数値計算, 砂防学会誌, 58(1), 14-19.

土石流タイプの数値計算手法の詳細については、以下の文献が参考になる。

- 1) 西口幸希・内田太郎・石塚忠範・里深好文・中谷加奈 (2011) 細粒土砂の挙動に着目した大規模土石流の流下過程に関する数値シミュレーション-深層崩壊に起因する土石流への適用-, 砂防学会誌, 64(3), 11-20
- 2) Uchida, T., Nishiguchi, Y., Nakatani, K., Satofuka, Y., Yamakoshi, T., Mizuyama, T. (2013) New numerical simulation procedure for large-scale debris flows (Kanako-LS), International Journal of Erosion Control Engineering, 6, 58-67.
- 3) 内田太郎・丹羽諭・西口幸希・村上正人・蒲原潤一・岡本 敦 (2014) 大規模な土石流の流下・堆積に関する数値計算プログラム作成の留意点, 土木技術資料, 56(9), 22-25

#### (4) 外力推定・施設設計の考え方

土石流タイプに対するハード対策の施設設計は施設の期待する機能が発現するように設計する。特に、深層崩壊により土石流が生じた場合に土石流を捕捉する施設及び土石流の規模を減ずる施設は、深層崩壊に起因する土石流の外力に対して、安定性を損なわない施設とする。また、深層崩壊に起因する土石流の外力については、数値計算等を用いて検討する。

##### 【解説】

深層崩壊により土石流が発生した場合に土石流を捕捉する施設および土石流の規模を減ずる施設の設計は基本的には、砂防基本計画の土石流・流木対策における施設の設計に準じる。深層崩壊地から当該対策施設まで距離が十分にある場合などは、設計の対象とする土石流の規模が砂防基本計画の土石流・流木対策の計画規模と同等程度またはそれ以下になる可能性が考えられる。

一方で、深層崩壊地から当該対策施設まで距離が十分でない場合などは、設計の対象とする土石流の規模が砂防基本計画の土石流・流木対策の計画規模を大きく上回る可能性がある。この場合の施設設計手法については、更なる研究・技術開発が必要である。

深層崩壊により土石流が生じた場合に土石流を捕捉する施設および土石流の規模を減ずる施設の設計に用いる外力の算出に関する数値計算手法は前項 (3.2.2(3)) と同様とする。

**【参考文献】**

砂防基本計画の土石流・流木対策における施設の設計については、以下の文献が参考になる。

- 1) 土石流・流木対策施設設計指針及び同解説（2007）国土技術政策総合研究所資料 第 365 号.

### 3. 2. 3 崩土の直撃タイプ

#### (1) 崩土の直撃タイプの特徴と対策の基本的な考え方

崩土の直撃タイプは、影響範囲は多くの場合において、土石流タイプ、天然ダムタイプに比べて、小さいと考えられる。このタイプの被害を減ずるためには、深層崩壊から保全対象までの極めて限られた範囲での対策が必要となる。そのため、このタイプの場合、個々の深層崩壊のおそれのある斜面のそれぞれに対して対策を実施する必要がある。

このタイプは、対策施設にかかる外力が極めて大きくなると考えられる。

#### (2) 崩土の直撃タイプに対するハード対策の種類と機能

崩土の直撃タイプの対策は、以下に大別される。

- 1) 深層崩壊の発生を抑制・抑止する施設
- 2) 深層崩壊が生じた場合に被害を減ずる施設

#### 【解説】

##### 1) 深層崩壊の発生を抑制・抑止する施設

深層崩壊の発生を抑制・抑止する施設については、重力性の変形の進行による深層崩壊をのぞき、現時点で十分な技術開発が行われているとは言い難い。

重力性の変形の進行による深層崩壊は、地すべり土塊の末端または地すべり土塊そのものが通常の緩慢な運動から急激に崩落に至ることによって生じる場合がある。この場合、重力性の変形の進行を抑止・抑制する施設が、深層崩壊の発生を抑制・抑止するために有効であると考えられる。すなわち、重力性の変形の進行による深層崩壊の対策には、地すべり対策等による重力性の変形の進行を抑止・抑止することが有効であると考えられる。

##### 2) 深層崩壊が生じた場合に被害を減ずる施設

崩土の直撃タイプの深層崩壊が発生したとしても被害を減ずる施設については、現時点で十分な技術開発が行われているとは言い難く、更なる調査、研究、技術開発が必要である。

#### 【参考文献】

深層崩壊の発生を抑制・抑止する施設のうち、重力性の変形の進行を抑止・抑制する施設については、以下の文献が参考になる。

- 1) 土木研究所 地すべりチーム (2007) 地すべり防止技術指針及び同解説 (提案), 土木研究所資料第 4077 号

### 3. 3 長時間継続型の天然ダムに対するハード対策

長時間継続型の天然ダムに対する天然ダム形成後に緊急的に実施するハード対策は、以下に大別される。

- 1) 天然ダムの形状を変化させる対策
- 2) 施設による対策

#### 【解説】

天然ダムの形状を変化させる対策としては、天然ダムの高さの切り下げ、湛水池の埋め立て等がある。

緊急対策時に設置する施設としては、天然ダムを生じさせている土塊に設置する排水路（暗渠も含む）、天然ダムを生じさせている土塊の下流に設置する砂防堰堤などが考えられる。また、天然ダムより下流側の近接した区間に満砂している既設砂防堰堤があり、天然ダム決壊までに時間的猶予がある場合は、既設砂防堰堤の除石も有効な対策である。

### 3. 4 対策施設の維持・管理

深層崩壊対策に資する施設は、その他の施設同様、継続的に維持管理する必要がある。特に、深層崩壊に起因する現象が生じ、施設が機能を発揮した場合は、施設の状態を確認し、次に発生する対象現象に対して、当該施設が十分な機能を発揮できるように、点検、除石、修繕等を行う。

## 4 切迫性に関する情報提供による対策

### 4. 1 概要

#### 4. 1. 1 基本的考え方

##### (1) 現象に応じた対策

被害軽減のための深層崩壊発生時の切迫性を評価する手法は、深層崩壊の発生要因によって異なる。そのため、対象とする現象を「1. 2 深層崩壊の発生要因による分類」に従い決定し、現象に則した対策手法を用いることが重要である。ただし、長期間継続型の天然ダムについては、深層崩壊発生・天然ダム形成後に天然ダム決壊の切迫性を評価する。

##### (2) 監視・観測機器の設置と監視基準値の設定

深層崩壊発生時の切迫性に関する情報による対策のうち、長期間継続型の天然ダム以外の対策は、常時、機器等による監視・観測を行う。その上で、監視・観測結果が、あらかじめ決めておく監視基準値に達した場合に、深層崩壊発生時の切迫性が高まったとして、深層崩壊の生じる切迫性に関する情報提供を実施する。

長期間継続型の天然ダムについては、天然ダム形成覚知に資する監視・観測は常時実施することとし、天然ダム形成確認後は、天然ダム決壊の切迫性の評価のための監視・観測体制を構築する。

#### 4. 1. 2 位置付け

深層崩壊発生・天然ダム決壊の切迫性に関する情報提供による対策のうち、一定の条件を満たす長時間継続型の天然ダムに対する対策は、土砂災害防止法に基づく緊急調査により実施する。

##### 【関連通達等】

- 1) 土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律（最終改正：平成 22 年 11 月 25 日法律第 52 号）。
- 2) 土砂災害防止対策基本指針（平成 23 年 4 月 28 日 国土交通省告示第 439 号）。

## 4. 2 切迫性に関する情報作成手法

### 4. 2. 1 急激な地下水位上昇による深層崩壊

急激な地下水位上昇による深層崩壊に対する深層崩壊発生切迫性に関する情報作成手法は、以下の4つの手法が考えられる。

- 1) 降雨量に基づく手法
- 2) 深層崩壊の前兆と考えられるような小規模な土砂移動の検知に基づく手法
- 3) 深層崩壊の発生と関係があると考えられる地下水位・河川流量の増加に基づく手法
- 4) 深層崩壊発生情報に基づく手法

#### 【解説】

##### 1) 降雨量に基づく手法

豪雨によって発生する深層崩壊は、現行の土砂災害警戒情報では発表の基準値設定の際の対象から、除外されていない場合が多いと考えられるが、土砂災害警戒情報の発表の基準は、発生頻度の高い深層崩壊以外の現象で設定されている可能性が高い。そのため、土砂災害警戒情報の発表から深層崩壊発生まで、時間差が長くなる可能性も高く、切迫性が分かりにくいなどの問題がある。また、一般に深層崩壊は短期間の降雨強度よりも長期間の積算降雨量の影響を強く受ける特徴がある。また、深層崩壊は降雨のピークから遅れて生じる場合が多いことにも留意する必要がある。そこで、土砂災害警戒情報に加え、過去の実績から、深層崩壊に特化した雨量基準を設定することも有効であると考えられる。

また、深層崩壊の中には、降雨ピークや降雨終了より遅れて発生するものがあり、情報の解除のタイミングには十分に留意する必要がある。

##### 2) 深層崩壊の前兆と考えられるような小規模な土砂移動の検知に基づく手法

急激な地下水位上昇により発生する深層崩壊より前に、小規模な崩壊や土砂流出、土石流が発生する場合が多いことが指摘されている。そこで、深層崩壊より前に生じる比較的な小規模な土砂流出、土石流を検知できれば、深層崩壊発生切迫性に関する情報に資する可能性がある。土砂流出、土石流の監視は、濁度計、掃流砂量計、各種土石流センサーにより可能である。ただし、どの程度の土砂流出、土石流が生じた場合に、深層崩壊の発生可能性が高まったと判断するかなど、更なる研究・技術開発が必要である。

##### 3) 深層崩壊の発生と関係があると考えられる地下水位・河川流量の増加に基づく手法

急激な地下水位上昇による深層崩壊が発生する場合、風化岩盤内の地下水位、間隙水

圧が上昇することによって生じると考えられる。そこで、風化岩盤内の地下水位、間隙水圧の計測や地下水位、間隙水圧と相関があると考えられる河川流量等の水文情報を監視することにより、深層崩壊発生の切迫性に関する情報を得ることが可能となる可能性が考えられる。ただし、どの程度の地下水位、河川流量が生じた場合に、深層崩壊の発生の可能性が高まったと判断するかなど、更なる研究・技術開発が必要である。

#### 4) 深層崩壊発生情報に基づく手法

急激な地下水位上昇による深層崩壊のうち、豪雨による深層崩壊が発生する場合、複数の深層崩壊が同一降雨内に発生することがある（例 平成 23 年台風 12 号）。このような場合、初期に生じる深層崩壊を検知することにより、当該深層崩壊地周辺の深層崩壊のおそれが高まっていると判断することができる。また、深層崩壊を検知する手法としては、振動計による手法がある。また、深層崩壊により天然ダムが生じた場合には、天然ダムより下流で急激な流量低下が生じる。そこで、急激な流量の低下を監視することによっても、深層崩壊の発生情報が得られる場合がある。

#### 【参考文献】

土砂災害警戒情報の警戒避難基準雨量の設定手法については、以下の文献が参考になる。

- 1) 国土交通省 河川局 砂防部，気象庁 予報部（2005）都道府県と気象庁が共同して土砂災害警戒情報を作成・発表するための手引き.
- 2) 国土交通省 河川局 砂防部，気象庁 予報部，国土技術政策総合研究所（2005）国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法案.

豪雨による深層崩壊が同一降雨内に複数発生する事例や発生前の土砂流出発生の事例については、以下の文献が参考になる。

- 1) 藤田正治（2012）2011 年台風 12 号による大規模土砂災害．第 6 回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 35-40.
- 2) Okamoto, A., Uchida, T., Hayashi, S., Suzuki, T., Yamashita, S., Tagata, S., Fukumoto, A., Kanbara, J.(2013) Possibility of early-warning for large-scale landslide using hydrological and sediment transport observations, Italian Journal of Engineering Geology and Environment - Book Series 6, 361-369.

深層崩壊を引き起こす降雨の特徴については、以下の文献が参考になる。

- 1) 八反地剛（2002）降雨を起因とする深層崩壊の特徴—崩壊土量と遅れ時間の関係—．砂防学会誌, 55(6), 74-77

- 2) 内田太郎・岡本敦（2012）深層崩壊を引き起こした降雨の特徴，土木技術資料，54(11)，32-35
- 3) 木下篤彦・北川眞一・内田太郎・海原荘一・竹本大昭・只熊典子（2013）深層崩壊が集中的に発生する降雨条件—平成23年台風12号の降雨分析—，砂防学会誌，66(3)，24-32

土石流・土砂流出の監視，水文観測手法については，以下の文献が参考になる。

- 1) 土木研究所 火山・土石流チーム（2005）振動検知式土石流センサー設置マニュアル（案），土木研究所資料，No.3974
- 2) 国土技術政策総合研究所 砂防研究室（2012）山地河道における流砂水文観測の手引き(案)，国土技術政策総合研究所資料，No.686
- 3) 武澤永純・山越隆雄・石塚忠範・中谷洋明（2013）山地河川における洪水時の地盤振動特性に関する一考察，土木技術資料，55(7)，10-15

豪雨・融雪による深層崩壊発生と水文情報の関係については，以下の文献が参考になる。

- 1) 坂野弘太郎・杉本宏之・武士俊也（2013）流量指標を用いた大規模土砂災害発生ポテンシャル評価の試み—平成23年台風12号の分析事例—，平成25年度砂防学会研究発表会概要集，A.152-A.153
- 2) 中谷洋明・向井啓司（2005）甚ノ助谷地すべりの挙動と手取川ダム流入量の関係。地すべり，42(1)，74-79
- 3) 小杉賢一郎・三道義己・藤本将光・山川陽祐・正岡直也・水山高久・平松晋也・福山泰治郎・地頭菌隆（2014）関数モデルを用いた深層崩壊の要因となる基岩地下水水位変動の解析，砂防学会誌，66(6)，3-14.

振動計・流量監視による深層崩壊の発生を検知する手法については，以下の文献が参考になる。

- 1) 土木研究所 火山・土石流チーム（2012）大規模土砂移動検知システムにおけるセンサー設置マニュアル（案），土木研究所資料，No.4229
- 2) 国土技術政策総合研究所 砂防研究室（2013）流量観測データを用いた河道閉塞（天然ダム形成）覚知に関するデータの整理・分析の手引き（案），国土技術政策総合研究所資料，No.767

流量監視による深層崩壊の発生の切迫性を評価する試みの事例については，以下の文献が参考になる。

- 1) 地頭菌隆・石塚忠範・能和幸範・柳町年輝（2014）深層崩壊警戒対応の湧水セ

#### 4. 2. 2 地盤の揺れによる深層崩壊

地盤の揺れによる深層崩壊に対して, 深層崩壊発生の切迫性に関する情報を提供するためには, 地震等の発生を予測する必要がある, 現時点では難しい。

#### 4. 2. 3 重力性の変形の進行による深層崩壊

重力性の変形の進行による深層崩壊においては, 深層崩壊発生以前に, 斜面, 道路, 家屋等に変状が出る場合が多い。このような場合, 変状発生箇所の斜面の移動量・変位量を監視・観測することにより, 深層崩壊の発生時刻を予測できることがある。

##### 【解説】

斜面の移動量・変位量等の計測は, 地盤伸縮計等により, 移動状況に応じた適切な測定間隔で行う。必要に応じ, 変位量が大きくなった場合や危険度の高まりにより近づけなくなった場合を想定した計測手法が検討されてきている。

また, 近年, 人工衛星等による干渉 SAR を用いた微少な斜面の変形をとらえる技術も開発されてきている。

##### 【参考文献】

移動量・変位量等の計測手法, 重力性の変形の監視・観測による深層崩壊の発生時期の予測手法, 予測の事例については, 以下の文献が参考になる。

- 1) 土木研究所 地すべりチーム (2007) 地すべり防止技術指針及び同解説 (提案), 土木研究所資料, No.4077

人工衛星による干渉 SAR を用いた微少な斜面の変形をとらえる技術については, 以下の文献が参考になる。

- 1) 国土地理院 (2014) 干渉 SAR ホームページ, <http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/index.html>
- 2) 吉川知弘・水野正樹・林真一郎・佐藤匠・吉川和男・藤本亮・松本定一 (2012) 干渉 SAR を用いた土砂災害予兆監視手法の検討, 平成 24 年度砂防学会研究発表会概要集, 180-181
- 3) 佐藤浩・岡谷隆基・小荒井衛・鈴木啓・飛田幹男・矢来博司・関口辰夫 (2012) SAR 干渉画像を用いた地すべり地表変動の検出について—山形県月山周辺を事例にして—, 日本地すべり学会誌, 49(2), 61-67

### 4. 3 長時間継続型の天然ダム決壊の切迫性に関する情報作成手法

長時間継続型の天然ダムに対する形成後に作成する災害発生の切迫性に関する情報は、天然ダムの形成を早期に発見した上で、天然ダム上流の湛水位および天然ダム上流の湛水池への流入流量、天然ダムからの流出流量を観測し、天然ダム上流域の降雨予測と流出解析等に基づき天然ダム決壊による災害発生の切迫性を評価することによって作成することを基本とする。

#### 【解説】

天然ダムを早期に発見し、発生箇所を特定するためには、①振動計を用いた深層崩壊発生の検知、②河川流量の低減を監視することによる天然ダム形成検知、③人工衛星画像による天然ダム形成場所の特定することなどが有効である。

天然ダムは形成直後に近づくのが困難な場合もあり、そのような場合の天然ダム上流の湛水位の監視・観測においては、投下型水位観測ブイを用いた観測が有効である。

また、越流による侵食以外（パインピングによる侵食など）にも備えて、天然ダム周辺の水の流出、土砂の移動状況などを監視カメラ等で監視することも有効である。

#### 【参考文献】

天然ダム形成後に実施する天然ダムによる災害が想定される時期に関する調査の詳細については、下記の資料が参考となる。

- 1) 国土交通省河川局砂防部砂防計画課，国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター，独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ（2011）土砂災害防止法に基づく緊急調査実施の手引き（河道閉塞による土砂災害対策編）。
- 2) 独立行政法人土木研究所（2008）天然ダム監視技術マニュアル(案)，土木研究所資料，No.4121

天然ダムを早期に発見・発生箇所を特定する手法は、以下の文献が参考になる。

- 1) 土木研究所 火山・土石流チーム（2012）大規模土砂移動検知システムにおけるセンサー設置マニュアル（案），土木研究所資料，No.4229
- 2) 国土技術政策総合研究所 砂防研究室（2013）流量観測データを用いた河道閉塞（天然ダム形成）覚知に関するデータの整理・分析の手引き（案），国土技術政策総合研究所資料，No.767
- 3) 国土技術政策総合研究所 砂防研究室（2013）単偏波 SAR 画像による河道閉塞箇所判読調査手法（案），国土技術政策総合研究所資料，No.760

- 4) 国土技術政策総合研究所 砂防研究室 (2014) 2 偏波の高分解能 SAR 画像による河道閉塞箇所判読調査手法 (案), 国土技術政策総合研究所資料, No.791

投下型水位観測ブイを用いた天然ダム上流の湛水位の監視・観測については, 以下の文献が参考になる。

- 1) 山越隆雄・石塚忠範・伊藤洋輔・大坂誠一・中込 淳 (2013) 2011 年台風 12 号による紀伊半島における天然ダム災害への投下型水位観測ブイの適用事例について, 砂防学会誌, 65(5), 45-49

## 5 土地の危険性に関する情報（ハザードマップ）提供による対策

### 5. 1. 概論

#### 5. 1. 1 基本的考え方

##### (1) 現象に応じた対策

深層崩壊により被害が生じる区域の予測による対策において、被害のおそれのある区域の予測手法は、深層崩壊で生じた土石等の流下機構・形態によって異なる。そのため、対象とする現象を「1. 2. 1 深層崩壊で生じた土石等の流下機構・形態による分類」に従い決定し、現象に則した被害のおそれのある区域の設定手法を用いることが重要である。

##### (2) 対象規模の設定

深層崩壊により被害が生じる区域の予測の対象規模は、「2. 4 対策の基本方針」に示したように、当該地域で深層崩壊が生じた場合に生じる可能性が考えられる現象・被害の全てを対象とすることを基本とする。

#### 【解説】

2章で想定した深層崩壊が発生した場合に

- ① 生じる可能性が高い現象・被害
- ② 生じる可能性が考えられる現象・被害

の2つの災害シナリオのうち、ソフト対策は、①のみならず②を含む全ての深層崩壊に起因する土砂災害を対象とすることを基本とすることから、深層崩壊により被害が生じる区域の予測は、①のみならず、②のシナリオも想定して実施する。

#### 5. 1. 2. 位置付け

深層崩壊発生・天然ダム決壊による土地の危険性に関する情報（ハザードマップ）提供による対策のうち、一定の条件を満たす長時間継続型の天然ダムについては、土砂災害防止法に基づく緊急調査により実施する。

#### 【解説】

土砂災害防止法による基礎調査においては、深層崩壊・天然ダム決壊を対象としていない。

**【関連通達等】**

- 1) 土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律（最終改正：平成 22 年 11 月 25 日法律第 52 号）.
- 2) 土砂災害防止対策基本指針（平成 23 年 4 月 28 日 国土交通省告示第 439 号）.

## 5. 2 土地の危険性に関する情報（ハザードマップ）作成手法

### 5. 2. 1 天然ダムタイプ

天然ダムタイプにより被害のおそれのある区域の設定は、

- 1) 天然ダム形成後、緊急的に実施する場合
- 2) 天然ダム形成以前に実施する場合

がある。天然ダム形成以前に実施する場合は、天然ダムの形成箇所、規模、形状を想定し、天然ダムタイプによる被害のおそれのある区域を数値計算により設定する。天然ダム形成後、緊急的に実施する場合は、5. 3節を参照する。

#### 【解説】

天然ダムタイプによる被害のおそれのある区域は、深層崩壊の場所及び規模、天然ダムの形成箇所・形状を想定し、数値計算により設定できる。数値計算手法は、3.2.1(3)と同様とする。

現時点で、深層崩壊の発生場所・規模を精度良く予測することは困難である。そこで、対象流域内の深層崩壊のおそれのある箇所について、網羅的に対象とし、当該流域における天然ダムタイプによる被害のおそれのある区域を設定することが望ましい。また、規模については、対象溪流及びその周辺地域の既往実績により決めることを基本とするが、詳細調査により、確度の高い情報が得られた場合、これを用いることもできる。深層崩壊の規模に関する詳細調査については、「2.3.2 被害の概略推定」における詳細調査に基づく手法を参照する。

### 5. 2. 2 土石流タイプ

土石流タイプにより被害のおそれのある区域、土石流危険溪流において生じる場合が考えられるが、土石流危険溪流で生じた場合であっても、通常規模の土石流による被害の範囲より広域で被害が生じる可能性がある。また、土石流タイプによる被害のおそれのある区域は数値計算により設定できる。

#### 【解説】

土石流タイプによる被害のおそれのある区域は、深層崩壊の場所及び規模を想定し、数値計算により設定できる。数値計算手法は、3.2.2(3)と同様とする。

現時点で、深層崩壊の発生場所および規模を精度良く予測することは困難である。そこで、深層崩壊の発生箇所は、対象溪流内の深層崩壊のおそれのある箇所について、網羅的に対象とし、当該溪流における土石流タイプによる被害のおそれのある区域を設定することが望ましい。また、規模については、前項と同様に、対象溪流及びその

周辺地域の既往実績により決めることを基本とするが、詳細調査により、確度の高い情報が得られた場合、これを用いることもできる。深層崩壊の規模に関する詳細調査については、「2.3.2 被害の概略推定」における詳細調査に基づく手法を参照する。

また、増水した河川等に土石流が流入した場合は、対岸等においても被害が生じる場合があることにも留意する。

### 5. 2. 3 崩土の直撃タイプ

崩土の直撃タイプは急傾斜地崩壊及び地すべりの危険箇所において生じる場合が考えられるが、危険箇所が生じた場合であっても、通常の急傾斜地崩壊や地すべりによる被害の範囲より広域で被害が生じる可能性がある。

#### 【解説】

崩土の直撃タイプにより被害のおそれのある区域は、深層崩壊の発生場所及び規模が想定できれば、崩壊土砂の挙動を表現可能な数値計算手法で設定できる。崩壊土砂の挙動を表現可能な数値計算手法としては、①崩壊土砂を連続体として扱う手法、②崩壊土砂を個別要素法により表現する手法などが提案されている。

また、川沿いで発生した深層崩壊による土砂は、場合によっては対岸にまで達するおそれがあるので留意する。さらに、増水した河川等に崩壊土砂が流入した場合は、対岸や上下流等においても被害が生じる場合があることにも留意する。

現時点で、深層崩壊の発生場所および規模を精度良く予測することは困難である。そこで、規模については、対象溪流及びその周辺地域の既往実績を決めることを基本とする。発生場所を詳細に想定する手法としては、「2.3.2 被害の概略推定」における詳細調査に基づく手法などを活用することが考えられるが、現時点では、手法の精度、汎用性について十分に確認された手法が確立されているとは言い難い。

#### 【参考文献】

- 崩壊土砂の挙動を表現可能な数値計算手法については、以下の文献が参考になる。
- 1) 吉松弘行・近藤観慈・石濱茂・綱木亮介・小嶋伸一・中村浩之（1992）準三次元地すべり運動解析プログラムによる地すべり性崩壊の被害範囲の予測，土木研究所資料 第3057号
  - 2) 宮本邦明（2002）土塊の運動の2次元数値シミュレーション，砂防学会誌 55(2), 5-13,
  - 3) 武蔵由育・山崎美穂・水山高久・小杉賢一朗（2011）崩壊土砂の運動のシミュレーション手法に関する研究，砂防学会誌 64(3), 37-45

### 5. 3 長時間継続型の天然ダム災害に対する土地の危険性に関する情報（ハザードマップ）作成手法

長時間継続型の天然ダムタイプにより被害のおそれのある区域を天然ダム形成後、緊急的に設定する場合は、速やかに天然ダムの発見、位置の確認、規模・形状の計測を行い、数値計算により、天然ダムタイプにより被害のおそれのある区域を設定する。

#### 【解説】

天然ダムを早期に発見・発生箇所を特定する手法は、4.3を参照する。

#### 【参考文献】

天然ダム形成後、緊急的に実施する場合の天然ダムタイプによる被害のおそれのある区域の設定手法は、以下の文献が参考になる。

- 1) 国土交通省河川局砂防部砂防計画課，国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター，独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ（2011）土砂災害防止法に基づく緊急調査実施の手引き（河道閉塞による土砂災害対策編）。
- 2) 内田太郎・山越隆雄・清水武志・吉野弘祐・石塚忠範（2011）河道閉塞(天然ダム)及び火山の噴火を原因とする土石流による被害範囲を速やかに推定する手法，土木技術資料, 53(7), 18-23,