

## 5. 数値計算による深層崩壊に起因する大規模土砂災害の被害想定

### 5.1 基本的な考え方

#### <考え方>

深層崩壊に起因する大規模土砂災害被害想定は、蓋然性の高い深層崩壊現象に対して、深層崩壊に起因する被害を想定するために行う。深層崩壊に起因する土砂移動現象は、数値計算により、ある程度記述できることが示されてきたことから、深層崩壊に起因する大規模土砂災害の被害想定は数値計算により実施することを標準とする。

一方、前章までの検討において、深層崩壊に起因する大規模土砂災害の被害を想定すべき条件が数多くある場合がある。その場合、被害の規模の大小や類似性を考慮し、効率的に進めることが望ましい。

#### 【解説】

深層崩壊に起因する大規模土砂災害の被害想定は、蓋然性の高い深層崩壊現象のうち、前章で除外したケースを除き全ケースについて実施することが望ましい。しかし、全ケースを短時間で実施することが難しい場合、保全対象の分布状況を踏まえて、領域を細分（図－5.1）した上で、分割した単位ごとに想定すべき現象を網羅するように被害想定を実施することが有効である。ただし、被害想定を実施するにあたっては被害の規模の大小や類似性を考慮し、効率的に進めることが望ましい。また、被害想定は全ての細分した単位に対して行うことを基本とするが、深層崩壊の頻度や過去の被害の有無、保全対象の重要性等を踏まえて、必要に応じて優先順位を設定する。

なお、保全対象と蓋然性の高い深層崩壊の発生のおそれのある範囲が、入り乱れて存在している場合は、領域分割に留意する。

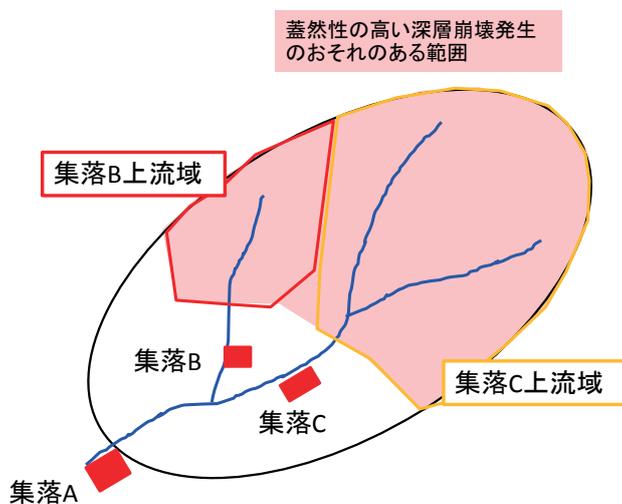
想定すべき現象を網羅するように被害想定をするにあたっては、実施箇所を以下のような観点に留意して抽出することが考えられる。また、大規模土砂災害の被害を想定すべき区間を等間隔で分割して、各地点で深層崩壊が発生した場合について被害推定を行う手法も考えられる（図－5.2）。

#### 【天然ダムの場合】

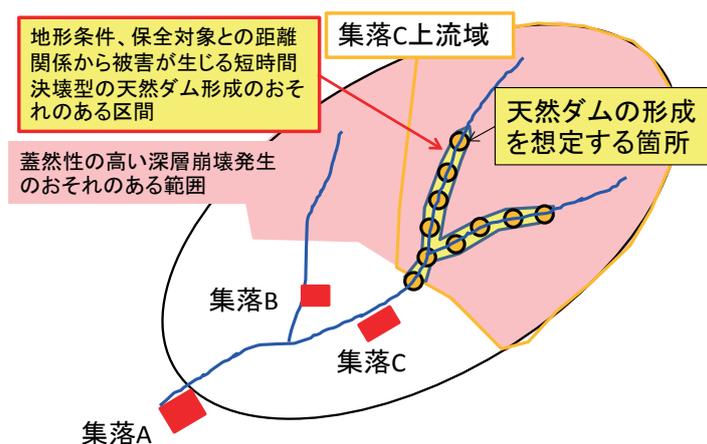
- ・短時間決壊型の天然ダム形成の蓋然性が高い区間が比較的長距離ある場合、蓋然性の高い区間のうち、保全対象に近い箇所、保全対象との距離が平均的な箇所、天然ダムによる湛水容量が最大になる箇所、平均的な湛水容量となる箇所など複数の天然ダム形成地点を想定し、被害推定を行うことにより、被害の有無の確認、被害規模の把握を行う（図－5.3）。

### 【土石流の場合】

- ・ ほぼ同程度の規模の深層崩壊が発生する蓋然性が高い区間において、最も保全対象に近い箇所や平均的な距離の箇所などにおいて、被害推定を行うことにより、被害の有無の確認、被害規模の把握を行う（図－5.4）。
- ・ 蓋然性が高い深層崩壊規模が空間的に異なる場合、最大規模の深層崩壊が発生する蓋然性が高い区間などにおいて、被害推定を行うことにより、被害の有無の確認、被害規模の把握を行う（図－5.4）。



図－5.1 領域分割のイメージ



図－5.2 大規模土砂災害の被害を想定すべき区間を等間隔で分割して、各地点で深層崩壊が発生した場合について被害推定を行う手法のイメージ（天然ダムの場合）

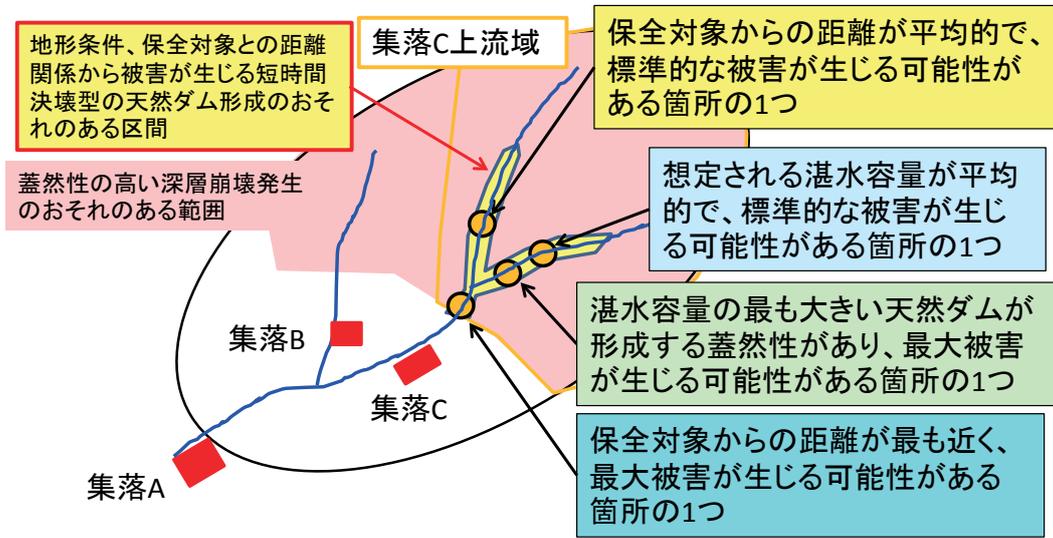


図-5.3 天然ダム決壊に関する被害想定実施箇所を抽出するイメージ

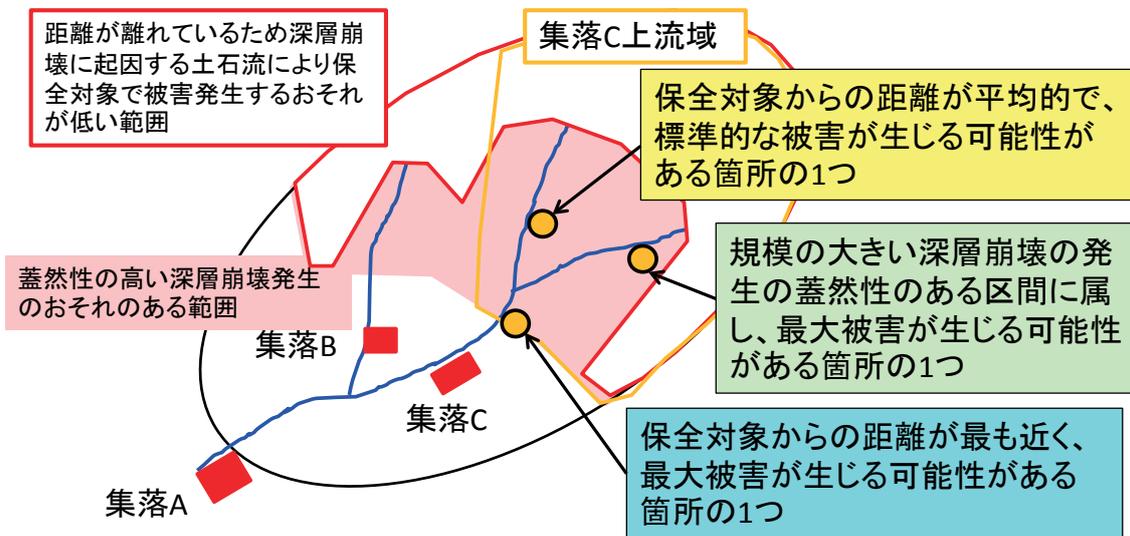


図-5.4 土石流に関する被害想定実施箇所を抽出するイメージ

## 5.2 深層崩壊に起因する土石等の流下形態の設定

### <標準>

#### <手段>

深層崩壊に起因する土石等の流下形態の設定は、以下の手法によって行うことを標準とする。

- ・ 蓋然性の高い深層崩壊現象による設定

#### <アウトプット>

深層崩壊に起因する土石等の流下形態の設定は、以下の項目について設定することを標準とする。

- ・ 蓋然性の高い深層崩壊に起因する土石等の流下形態

### 【解説】

1つの斜面であっても、複数の深層崩壊に起因する土石等の流下形態が生じるおそれがある場合は、それらすべてを蓋然性の高い深層崩壊に起因する土石等の流下形態とすることが望ましい。

## 5.3 天然ダムタイプの被害範囲の検討

### 5.3.1 手法の概要

#### <考え方>

天然ダムタイプの被害範囲の検討は、天然ダムに起因する湛水被害範囲と天然ダム決壊にともなう氾濫被害範囲を設定するために行う。

#### <標準>

##### <手段>

天然ダムタイプの被害範囲の検討は、蓋然性の高い深層崩壊現象のうち、4章および5.1項で抽出した現象について検討することを標準とする。

天然ダムの形成箇所・天然ダムの形状・天然ダム湛水池上流の流入ハイドログラフについては、実績に基づき条件を設定することを標準とする。地形条件、土石の粒径等については、現地調査に基づき条件を設定することを標準とする。なお、既往調査結果を用いて条件設定を行ってもよい。

これら条件を用いて、数値シミュレーションにより被害範囲を算出することを標準とする。

#### <アウトプット>

天然ダムタイプの被害範囲の検討は、以下の項目について設定することを標準とする。

- ・天然ダム湛水による被害範囲
- ・天然ダム決壊による被害範囲

### 5.3.2 天然ダム形状の設定

#### <標準>

#### <手段>

天然ダム形状の検討は、以下の手法により行うことを標準とする。

- ・当該深層崩壊検討分割領域内の過去の天然ダム発生実績に基づく方法
- ・深層崩壊の形状や土砂量から天然ダム形状を想定する方法
- ・数値計算により天然ダム形状を想定する方法

#### <アウトプット>

天然ダム形状の検討は、以下の項目について設定することを標準とする。

- ・天然ダム高さなどの形状に関する情報

＜例示＞深層崩壊の土砂量から天然ダム形状を想定する方法

天然ダムの形状の想定に関する研究事例は必ずしも多くはないが、深層崩壊土砂量等から天然ダム形状を想定する方法としては、以下に示すオベリスクの式による方法や原田らの方法<sup>2)</sup>が考えられる。

天然ダム形状は、四角錐台型やくさび型の形状が知られている。これらの形状を形成する勾配や長さを、天然ダム形成地周辺地形情報、過去の実績を参考に算定し、深層崩壊土砂量と同等となる天然ダム形状をオベリスク式で体積を算定することによって推定することができる。

$$h = \frac{6 \times V}{L_2 \times B_1 + L_1 \times B_2 + 2(L_1 \times B_1 + L_2 \times B_2)}$$

ここで、

h : 天然ダム高 (m)

V : 天然ダムの体積 (m<sup>3</sup>)

B<sub>1</sub> : 左右岸方向の天然ダム堤長 (m)

B<sub>2</sub> : 河床幅 (m)

m : 河道の側岸勾配 (1 : m)

L<sub>1</sub> : 天然ダム天端幅 (m)

L<sub>2</sub> : 堰き止め長 (m)

θ<sub>1</sub> : 下流側のり勾配 (°)

θ<sub>2</sub> : 上流側のり勾配 (°)

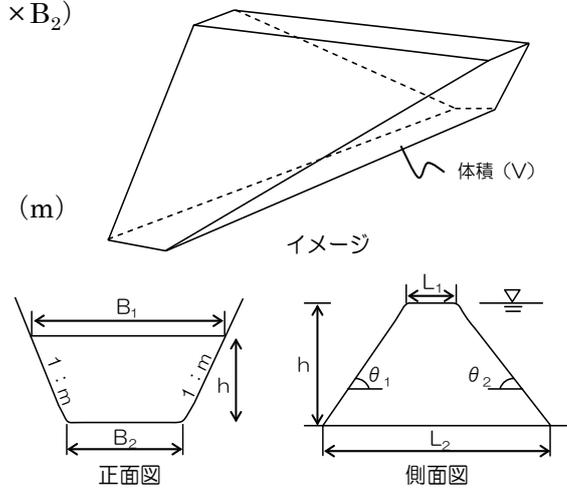


図-5.5 天然ダムの体積の計算

本式を用いるにあたっては、上流側のり勾配・下流側のり勾配 (θ<sub>1</sub>, θ<sub>2</sub>) を設定する必要がある。当該深層崩壊検討分割領域内の天然ダム発生実績があればその勾配を採用する。当該深層崩壊検討分割領域内での実績がない場合には、全国的な実績を参考とすることができる。下流側のり勾配等については下記の事例がある<sup>2)</sup>。

例) 下流側のり勾配 (θ<sub>2</sub>)

- ・平成16年中越地震 (6事例), 平成20年岩手宮城内陸地震 (5事例), 平成23年台風12号 (14事例) の平均勾配の実績: 分布範囲6° ~31°, 平均値18.4°, 最大値31°, 75%値23°, 90%値26°
- ・天然ダム高さが40mを超える4事例では最大値17°

上流側のり勾配 (θ<sub>1</sub>)

- ・湛水によって計測ができず、実績がない。

また、これを参考とする場合、安全側を見て、天然ダムは三角形形状 (L<sub>1</sub>=0) として想定することが考えられる。

また、堰止め長の設定にあたっては、全国的な崩壊土砂量と堰止め長の実績を参考とすることで天然ダムの形状が設定できる（図-5.6）

天然ダム高さは深層崩壊土砂量から周辺地形を基に計算によって決定することを基本とするが、全国的な崩壊土砂量と天然ダムの高さの実績を整理した事例がある（図-5.7）。

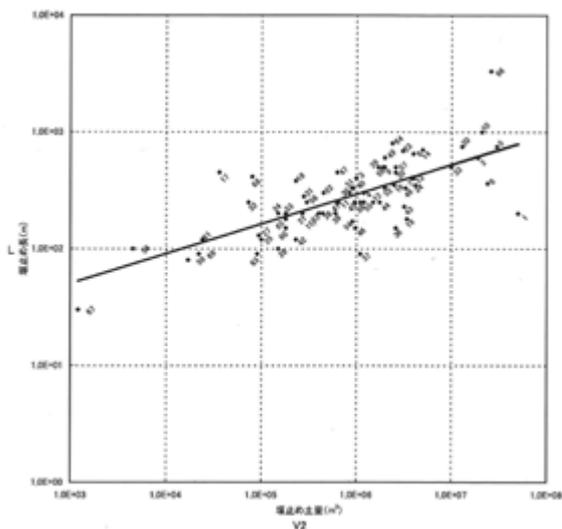


図-5.6 堰止め土量（崩壊土砂量）  
と堰止め長<sup>3)</sup>

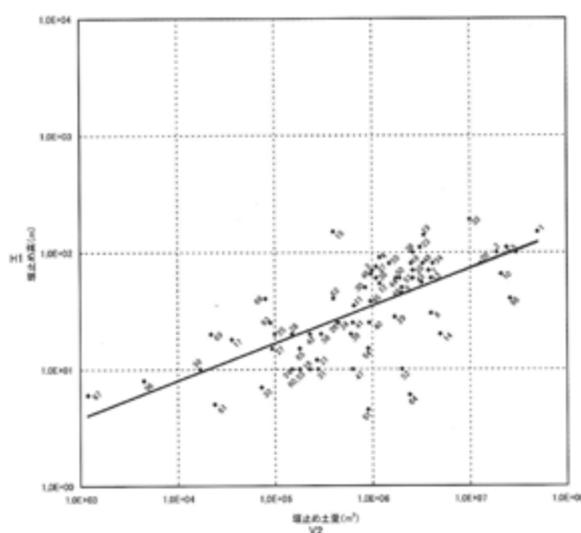


図-5.7 堰止め土量と堰止め高<sup>3)</sup>

#### 【参考文献】

- 1) 原田紹臣・小杉賢一郎・里深好文・水山高久：天然ダムの堆積高及び堆積長に関する簡易的な予測手法とその適用性，砂防学会誌，Vol.68，No.6，p.47-50，2016
- 2) 鈴木清敬・内田太郎・桜井亘：深層崩壊に起因する天然ダムタイプの被害想定手法に関する一考察，平成29年度砂防学会研究発表会概要集，p.748-749，2017
- 3) 田畑茂清・水山高久・井上公夫：天然ダムと災害，古今書院，228pp.，2002

### 5.3.3 天然ダム湛水規模の検討

#### <標準>

#### <手段>

天然ダム湛水規模の検討において、天然ダム湛水容量は天然ダムの高さから設定することを標準とする。その上で、天然ダム湛水容量・天然ダム形成後の河川流流入量から、短時間決壊型の天然ダムと長期間継続型の天然ダムに分類し、短時間決壊型の天然ダムを対象とすることを標準とする。なお、天然ダム湛水容量は天然ダムにおいて越流開始時点の湛水量とする。

#### <アウトプット>

天然ダム湛水規模の検討は、以下の項目について設定することを標準とする。

- ・天然ダムの水位容量曲線
- ・短時間決壊型と長期間継続型の分類

#### 【解説】

天然ダムの高さを基に、天然ダムから越流開始が想定される天然ダム天端標高を設定する。天然ダム上流側地形図を基に平均断面法などにより、湛水容量を算定する。

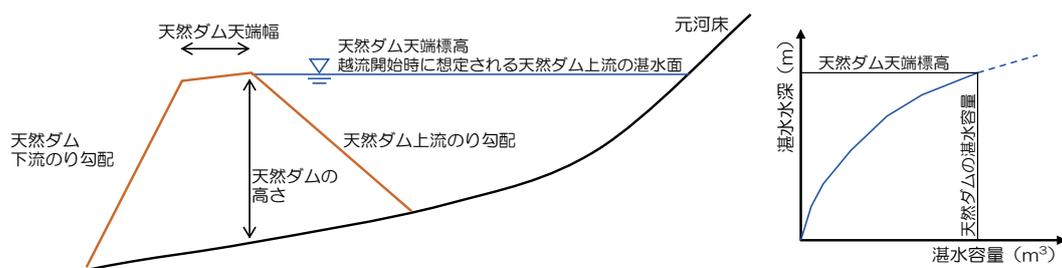


図-5.8 天然ダム湛水容量算定 (例)

### ＜例示＞天然ダム（短期決壊型）継続時間の想定方法

天然ダムの湛水容量と天然ダム形成後の河川流水流入量から天然ダムの継続時間を想定するには、天然ダム形成後のハイドログラフを想定する必要がある。一般に天然ダムは豪雨時に形成されることから、豪雨時のハイドログラフを想定する。

当該地域で天然ダム形成の実績がある場合、実績の比流量の時系列データ（ないしは実績の降雨波形から推定された比流量の時系列データ）を用いることができる。一方、天然ダム形成時の情報が十分に得られない場合は、既往の砂防計画等で用いられているハイドログラフの活用や豪雨時のハイドログラフの実績の利用、豪雨時の降雨波形から洪水ハイドログラフの推定などが考えられる。この際、「3.5.2 深層崩壊発生頻度の検討」の結果に基づき、当該地域で深層崩壊を発生させる降雨特性・規模に応じて洪水ハイドログラフを想定することが望ましい。

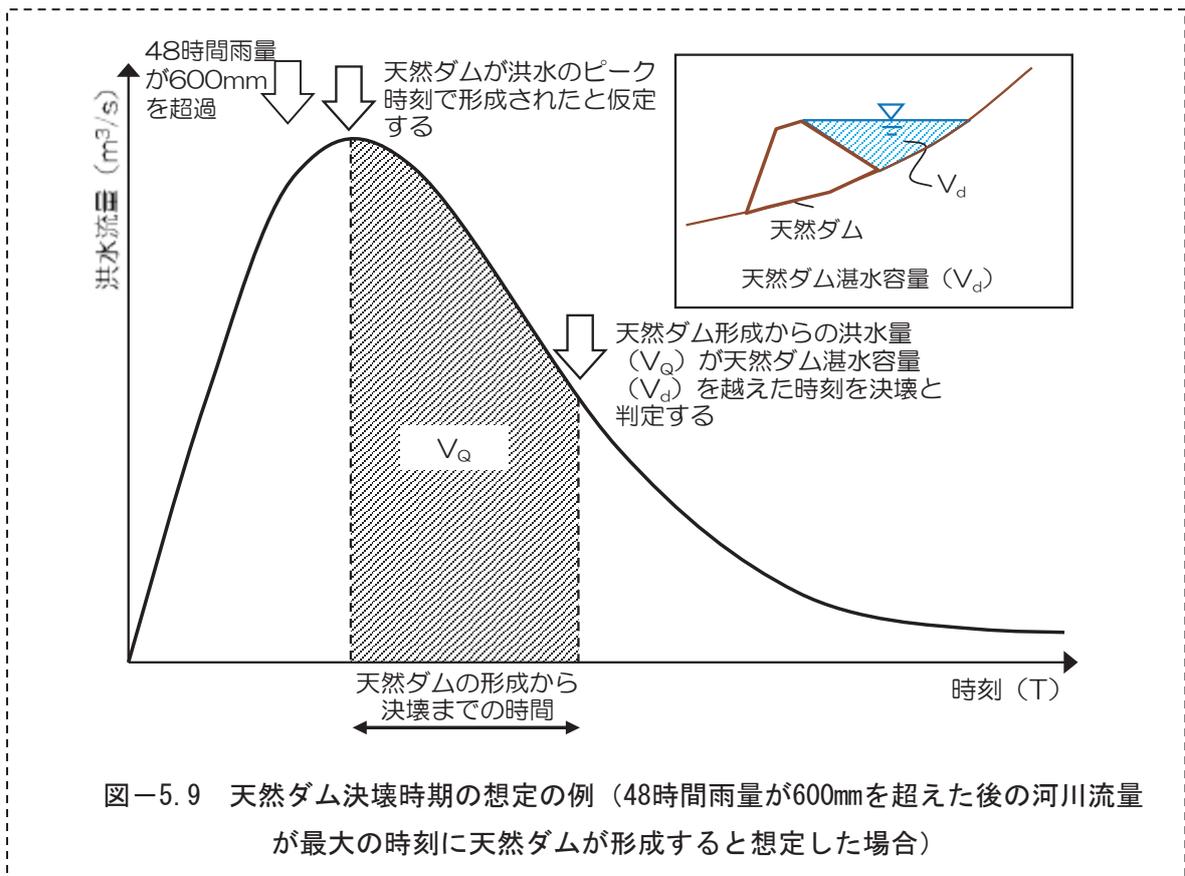
次に、天然ダムの継続時間の推定にあたっては、天然ダムの形成時刻を想定する必要がある。当該地域で天然ダム形成の実績があり、天然ダム形成時刻の情報が得られる場合、これを参考にし、天然ダム形成時刻を想定することができる。また、天然ダムの形成時刻の想定にあたっては、以下の知見が参考になる。

- 1) 既往の国内事例の分析から、深層崩壊の発生は48時間雨量などの長期雨量指数の影響を強く受けており、48時間雨量が600mmを超えると深層崩壊の発生事例が急増することが明らかにされてきた<sup>1)</sup>。
- 2) 既往の国内事例の分析から、深層崩壊は河川流量が最大に近い時刻に発生することが明らかにされてきた<sup>2)</sup>。

これを基にすると、例えば48時間雨量が600mmを超えた時点や、600mmを超えた後の河川流量が最大の時刻に天然ダムが形成すると想定するなどが考えられる（図-5.9）。また、同規模の降雨であっても、降雨波形の違いにより、天然ダムの継続時間が異なる可能性も考えられる点にも留意し、複数の降雨波形、流量波形について検討することも考えられる。

#### 【参考文献】

- 1) 内田太郎・岡本敦：深層崩壊を引き起こした降雨の特徴，土木技術資料，Vol.54，No.11，p.32-35，2012
- 2) 坂野弘太郎・杉本宏之・武士俊也：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.153，2013



### 5.3.4 天然ダム直下におけるハイドログラフの検討

#### <標準>

#### <手段>

天然ダム直下におけるハイドログラフの検討は、1次元河床変動計算を用いることを標準とする。

#### <アウトプット>

天然ダム直下におけるハイドログラフの検討は、以下の項目について設定することを標準とする。

- ・天然ダム直下におけるハイドログラフ

#### 【解説】

天然ダム湛水位が満水状態となった時点から、天然ダムの越流決壊現象を追跡可能なモデルによって決壊ハイドログラフを作成する。

その際、数値計算プログラムには以下の機能が求められる。

- ・土石流状態から掃流状態まで連続的な土砂輸送を解析できること。
- ・河床の侵食・堆積現象を解析できること。
- ・水の不定流計算が可能であること。

なお、これらは「土砂災害防止法に基づく緊急調査の手引き」（河道閉塞による土砂災害対策編）における標準的な手法と概ね同じ手法である。なお、緊急調査時には速やかに結果を得る必要があり、目的、時間的制約、ハイドログラフの条件など条件が異なることから、事前検討として1次元河床変動計算を行う場合は緊急調査時とは異なる数値計算プログラムを用いることを標準とする。

#### 【参考文献】

- 1) 森俊勇・坂口哲夫・井上公夫編著：日本の天然ダムと対応策，古今書院，p.113-116，2011

### ＜例示＞天然ダム決壊時の湛水池への流入流量の推定

天然ダム決壊時の湛水池への流入流量の推定について、「5.3.3天然ダムの継続時間の検討」に用いたハイドログラフ・条件を基に、天然ダム決壊時の比流量を算出することができる。

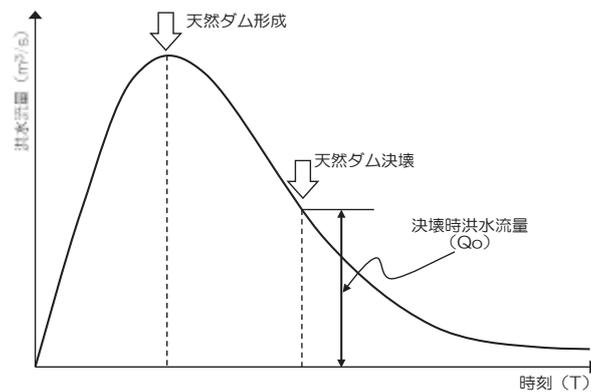


図-5.10 決壊時洪水流量の算定（例）

### ＜参考＞簡易的な推定手法

天然ダム直下におけるハイドログラフの検討は、数値シミュレーションを用いて想定する手法により行うことを標準とするが、簡易的なピーク流量の推定手法も提案されてきている<sup>1)</sup>。

### 【参考文献】

- 1) 田畑茂清・水山高久・井上公夫：天然ダムと災害，古今書院，p.144-149，2002

### 5.3.5天然ダム下流河道における洪水の追跡検討

#### <標準>

#### <手段>

天然ダム下流河道における洪水の追跡検討は、1次元河床変動計算を用いることを標準とする。

短時間決壊型天然ダムの場合、天然ダム下流域で比較的大きな常時流水を有する本川と合流する場合、本川洪水流量を天然ダム決壊に起因するハイドログラフに加えて算定することを標準とする。

#### <アウトプット>

天然ダム下流河道における洪水の追跡検討は、以下の項目について設定することを標準とする。

- ・ 氾濫開始点または保全対象付近における流況（ハイドログラフ，土砂濃度）

#### 【解説】

「5.3.4天然ダム直下におけるハイドログラフの検討」と同様な方法を用いる。

**<例示>天然ダム下流河道における洪水の追跡検討方法**

「5.3.3<例示>天然ダム（短期決壊型）継続時間の設定方法」を基に，天然ダム決壊時の比流量を算出することができる。すなわち，天然ダム決壊時の合流する河川の洪水流の比流量は天然ダムに流入する河川の比流量と等しいと仮定し，合流する河川の洪水流を算定することができる。

$$\text{本川洪水流量 (m}^3\text{/s)} = \frac{A_2(\text{km}^2)}{A_1(\text{km}^2)} \times \text{決壊時の天然ダムに流入する流量 (m}^3\text{/s)}$$

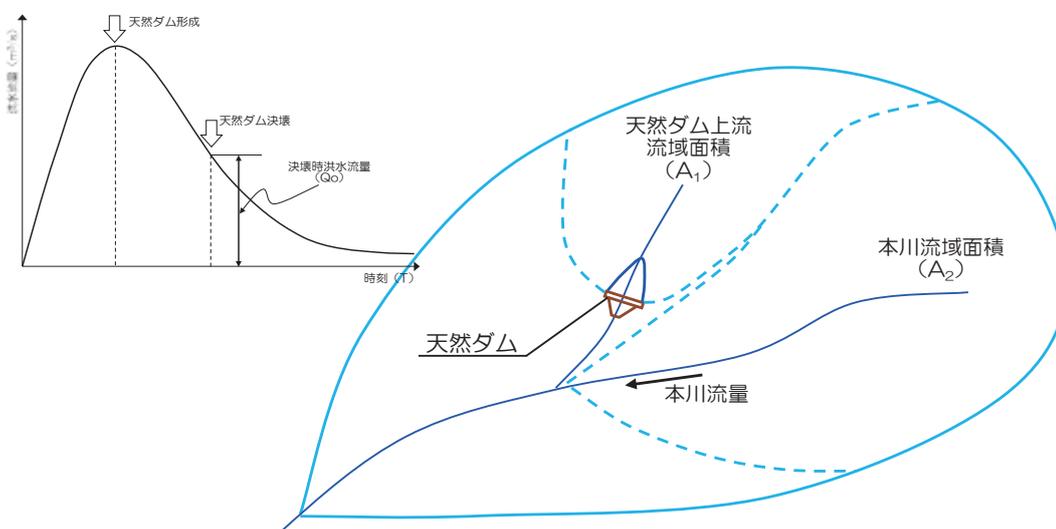


図-5.11 合流する河川の洪水流量の設定（例）

### 5.3.6 天然ダムタイプの氾濫範囲の検討

#### <標準>

#### <手段>

天然ダムタイプの氾濫範囲の検討のうち、天然ダム上流側の湛水による氾濫範囲は、天然ダム湛水池周辺の地形図を用いる手法により行うことを標準とする。

天然ダムタイプの氾濫範囲の検討のうち、天然ダム決壊による洪水の氾濫範囲は、2次元の数値計算を用いる手法により行うことを標準とする

#### <アウトプット>

天然ダムタイプの氾濫範囲の検討は、以下の項目について設定することを標準とする。

- ・天然ダム上流側の湛水による氾濫範囲
- ・天然ダム決壊による洪水の氾濫範囲

#### 【解説】

天然ダムタイプの氾濫範囲の検討の内、天然ダム決壊による洪水の氾濫範囲の検討は、氾濫開始点（流域内に保全対象が分布し、かつ、流下能力が不足している場合、保全対象の直上流）から下流側は、氾濫現象を追跡可能な2次元の数値計算によって氾濫範囲を設定する。

また、ある氾濫開始点上流において、複数の天然ダムの形成箇所、規模を想定した場合は、氾濫開始点のハイドログラフが概ね類似したケースが複数存在することが考えられる。このような場合は、氾濫開始点のハイドログラフが概ね類似したケースごとに代表ケースを設定し、氾濫計算を行うことも考えられる。

## 5.4 土石流タイプの被害範囲の検討

### 5.4.1 手法の概要

#### <考え方>

土石流タイプの被害範囲の検討は、深層崩壊が土石流化して流下した場合の氾濫被害範囲を設定するために行う。

#### <標準>

##### <手段>

土石流タイプの被害範囲の検討は、蓋然性の高い深層崩壊現象のうち、4章および5.1項で抽出した現象について検討することを標準とする。

地形条件、土石の粒径等については、現地調査に基づき条件を設定することを標準とする。なお、既往調査結果を用いて条件設定を行ってもよい。

これら条件を用いて、数値シミュレーションにより被害範囲を算出することを標準とする。

##### <アウトプット>

土石流タイプの被害範囲の検討は、以下の項目について設定することを標準とする。

- ・土石流タイプの被害範囲

## 5.4.2 土石流ハイドログラフの検討

### <標準>

### <手段>

土石流ハイドログラフの検討は、1次元河床変動計算を用いることを標準とする。土石流が比較的大きな常時流水を有する本川と合流する場合、深層崩壊に起因する土石流のみではなく、溪流の本川洪水流量と重なる場合があることにも留意する。

### <アウトプット>

土石流ハイドログラフの検討は、以下の項目について設定することを標準とする。

- ・下流谷出口または保全対象付近における流況（ハイドログラフ，土砂濃度）

### 【解説】

深層崩壊に起因する土石流の1次元河床変動計算手法は、「深層崩壊に起因する土石流の流下・氾濫計算手法（案）」（土木研究所資料，第4240号）に詳しい。「深層崩壊に起因する土石流の流下・氾濫計算手法（案）」では、深層崩壊に起因する土石流では、土石流中に含まれる土石のうち、細粒土砂は土石流中の間隙流体と一体となって移動する可能性を考慮した数値計算手法が示されている。崩壊土砂が土石流化したのちの流下・堆積過程（下図の②～④）を数値計算により想定するものである。

また、用いる計算プログラムの留意点については、参考文献<sup>1)</sup>が参考になる。また、「深層崩壊に起因する土石流の流下・氾濫計算手法（案）」には、深層崩壊に起因する土石流の粒度分布、深層崩壊が発生した岩盤の間隙率に関する情報も整理されており、参考にできる。

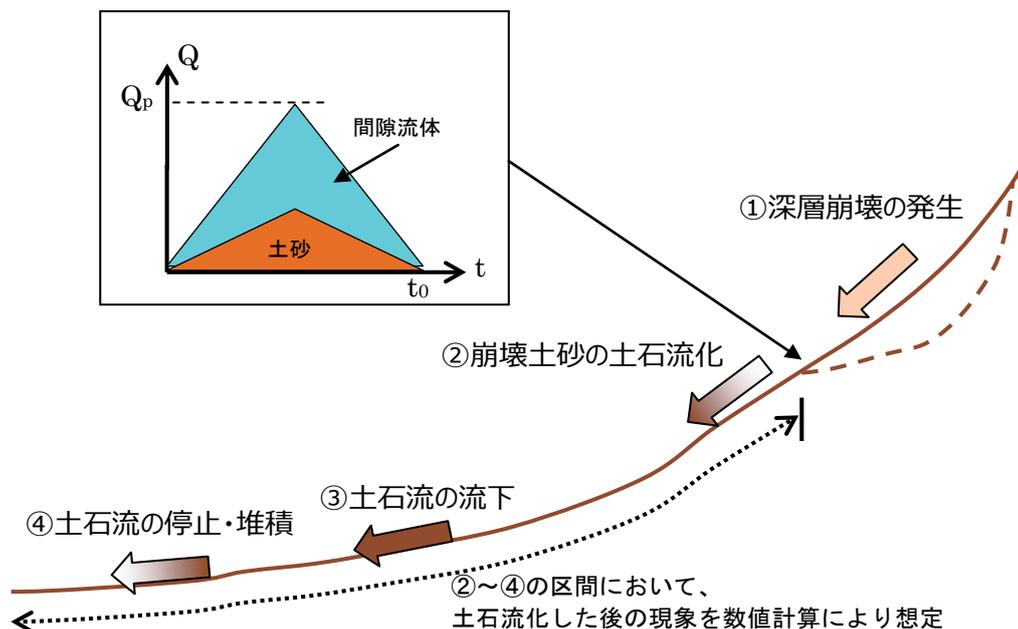


図-5.12 土石流の流下検討（例）

【参考文献】

- 1) 内田太郎・丹羽諭・西口幸希・村上正人・蒲原潤一・岡本敦：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，Vol.56，No.9，p.22-25，2014

＜例示＞計算上流端のハイドログラフの設定方法

「深層崩壊に起因する土石流の流下・氾濫計算手法（案）」においては，参考に1次元計算区間の上流端においては，流れ（流量と流速の関係）は，土石流の抵抗則に従っていると仮定してハイドログラフを設定する手法が示されている。土石流の抵抗則は高橋の抵抗則を用い，ハイドログラフは継続時間の中間の時刻でピーク流量となる三角形形状を仮定する。また，崩壊土砂が一様な速度で移動していると仮定して算定する。なお，本設定方法は，ピーク流量は最大で，継続時間は最短な現象に近いと考えられることに留意する必要がある。すなわち，条件によっては，非常に速い流速を想定してしまう場合がある。

#### ＜例示＞土石流化する土砂量の設定方法

深層崩壊の崩壊ハイドログラフの検討において、流下する土砂量の上限值を以下の様に設定する場合がある。

崩壊土砂量が100万 $\text{m}^3$ を超えるような深層崩壊地については、全量が土石流として流下しない可能性が高い。このため、当該地域の過去の災害事例を参照し、土石流の最大規模を決めても良い。また、当該地域の過去の災害事例を参照しがたい場合、崩壊土砂のうち70万 $\text{m}^3$ 程度が土石流化する上限と想定する方法(図-4.13を参照)もある。

#### 【参考文献】

- 1) 内田太郎・岡本敦：崩壊土砂の流動化量に関する一考察，土木技術資料，Vol.55，No.7，p.6-9，2013

### 5.4.3 土石流タイプの氾濫範囲の検討

#### <標準>

#### <手段>

土石流タイプの氾濫範囲の検討は、2次元の数値計算を用いる手法により行うことを標準とする。

また、増水した河川等に崩壊土砂が流入した場合は、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。

#### <アウトプット>

土石流タイプの氾濫範囲の検討は、以下の項目について設定することを標準とする。

- ・土石流による氾濫範囲

#### 【解説】

谷出口から下流側は、土石流の氾濫現象を追跡可能な2次元の数値計算によって氾濫範囲を設定する。

また、ある氾濫開始点上流において、複数の深層崩壊の発生箇所、規模を想定した場合は、氾濫開始点のハイドログラフが概ね類似したケースが複数存在することが考えられる。このような場合は、氾濫開始点のハイドログラフが概ね類似したケースごとに代表ケースを設定し、氾濫計算を行うことも考えられる。

## 5.5 崩土の直撃タイプの被害範囲の検討

### <考え方>

崩土の直撃タイプの被害範囲の検討は、深層崩壊に起因する崩土の直撃による被害範囲を設定するために行う。

### <標準>

#### <手段>

崩土の直撃タイプの被害範囲の検討は、蓋然性の高い深層崩壊現象のうち、4章および5.1節で抽出した現象について検討することを標準とする。

地形条件、土石の粒径等については、現地調査に基づき条件を設定することを標準とする。なお、既往調査結果を用いて条件設定を行ってもよい。

これら条件を用いて、以下の手法によって行うことを標準とする。

- ・運動方程式に基づく方法
- ・数値シミュレーションに基づく方法
- ・過去の崩土の到達実績に基づく方法

また、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。

#### <アウトプット>

崩土の直撃タイプの被害範囲の検討は、以下の項目について設定することを標準とする。

- ・崩土の直撃タイプの被害範囲

### ＜例示＞崩土の直撃タイプの被害範囲検討方法

#### 1) 運動方程式に基づく方法<sup>1)</sup>

移動速度と抵抗力の運動方程式として到達距離を算定する方法がある。

#### 2) 数値シミュレーションに基づく方法

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<sup>2)</sup>、<sup>3)</sup>、②崩壊土砂を個別要素法により表現する手法<sup>4)</sup>などが提案されている。

#### 3) 過去の崩土の到達実績による検討方法

深層崩壊に起因する崩土の到達距離については、過去の実績を取りまとめた事例<sup>5)</sup>が参考となる。

#### 4) 段波の検討

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。深層崩壊に起因する段波の到達距離については、平成23年台風12号の実績<sup>6)</sup>が参考となる。

#### 【参考文献】

- 1) 土木学会水理委員会：水理公式集 [平成11年度版]，社団法人 土木学会，p.144，1999
- 2) 吉松弘行・近藤観慈・石濱茂・綱木亮介・小嶋伸一・中村浩之：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，1992
- 3) 宮本邦明：土塊の運動の2次元数値シミュレーション，砂防学会誌，Vol.55，No.2，p.5-13，2002
- 4) 武藏由育・山崎美穂・水山高久・小杉賢一朗：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，Vol.64，No.3，p.37-45，2011
- 5) 西口幸希・内田太郎・田中健貴・蒲原潤一・奥山遼佑・日名純也・松原智生・桜井亘：深層崩壊の発生に伴う土砂移動現象と被害発生位置の実態．砂防学会誌，Vol.68，No.6，p.31-41，2016
- 6) 奈良県：土砂災害地域防災マップづくりガイドライン，[http://www3.pref.nara.jp/doshasaigai/data/GUID\\_guidline.pdf](http://www3.pref.nara.jp/doshasaigai/data/GUID_guidline.pdf)，p.18，参照2017-3-24，2015