

# 砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編) 解説および土石流・流木対策設計 技術指針解説のポイント

小山内 信智 おさないのぶとも

国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター砂防研究室 室長

水野 秀明 みずの ひであき

国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター砂防研究室 主任研究官

## 1 はじめに

土石流対策技術指針(案)に関する経緯を振り返ってみる。まず、技術基準「土石流対策施設計画」(案)が「総合土石流対策等技術検討会」(昭和57年から2年間)によって取りまとめられた。その後、「総合土石流対策強化手法検討会」(昭和59年～62年)の第3部会(昭和60年より設置)が技術基準「土石流対策施設計画」(案)を実際の土石流危険渓流に適用し修正した。その成果は土石流対策技術指針(案)として平成元年10月9日に建設省(当時)河川局砂防課長より全国に通知された。

その後、同指針(案)は平成12年7月13日に改訂され、建設省河川局砂防課長より全国に通知された。平成16年3月には、河川砂防技術基準(案)計画編が改正され、「河川砂防技術基準計画編」が通知された。そのなかで、砂防基本計画は水系砂防に加えて、土石流対策、流木対策、火山砂防、天然ダムなど異常土砂災害対策の5つから構成されることになった。

このなかの土石流対策と流木対策についての砂防基本計画の標準的な策定方法を示した砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)および土石流・流木対策設計技術指針が平成19年3月13日に国土交通省河川局砂防部砂防計画課長と保全課長の連名で通知され、土石流対策技術指針(案)と流木対策指針(案)が廃止された。その後、両指針の解説が国土交通省国土技術政策総合研究所を主体として取りまとめられ、平成19年3月に国総研資料第364号と365号として公表された。ここでは、砂防基本

計画策定指針(土石流・流木対策)解説と土石流・流木対策設計技術指針解説において、土石流対策技術指針(案)とくらべて、変更された点や追加された点を紹介する。

## 2 砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)解説の主なポイント

### 1 ……土砂移動の形態

砂防基本計画は土砂移動の形態に則して策定する。その土砂移動の形態は溪床勾配に応じて土石流区間と掃流区間に区分される図-1。今回の改定で、その境界となる地点を溪床勾配2°の地点とした。

### 2 ……土石流・流木処理計画

土石流・流木処理計画は河川砂防技術基準計画編基

図-1 土砂移動の形態の溪床勾配(目安)

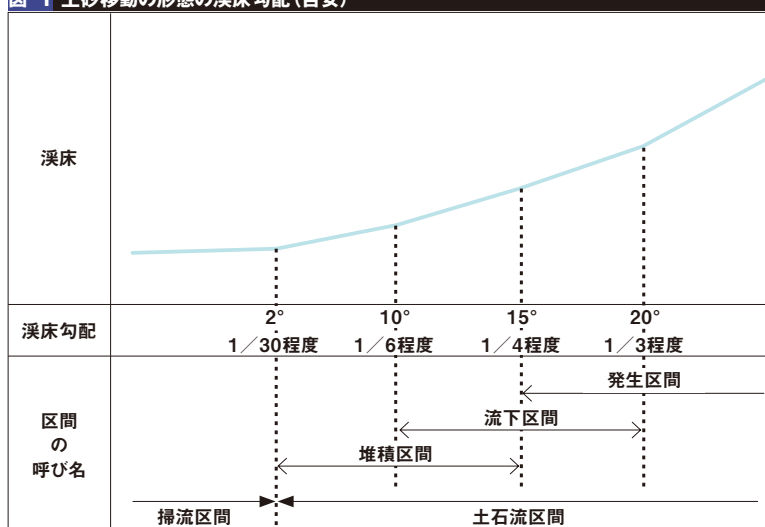


図-2 土石流・流木処理計画に計上できる土砂量(透過型)

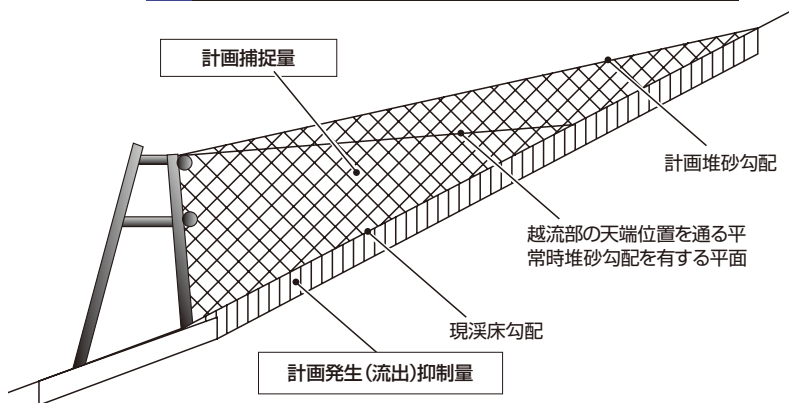


図-3 土石流・流木処理計画に計上できる土砂量(不透透型)

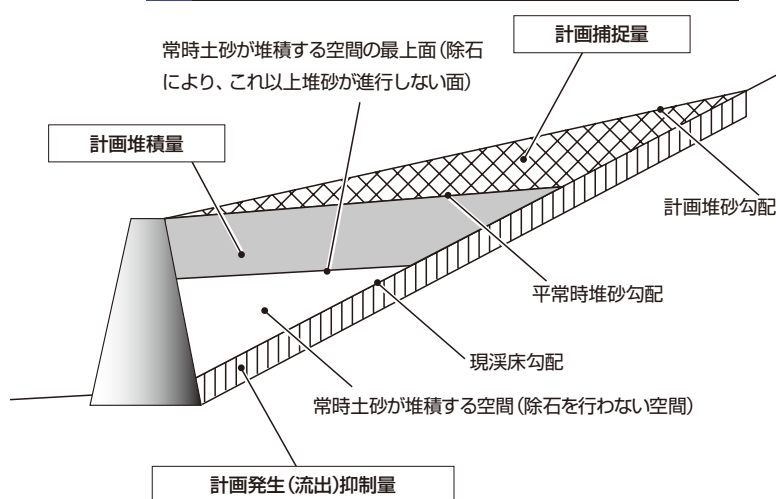
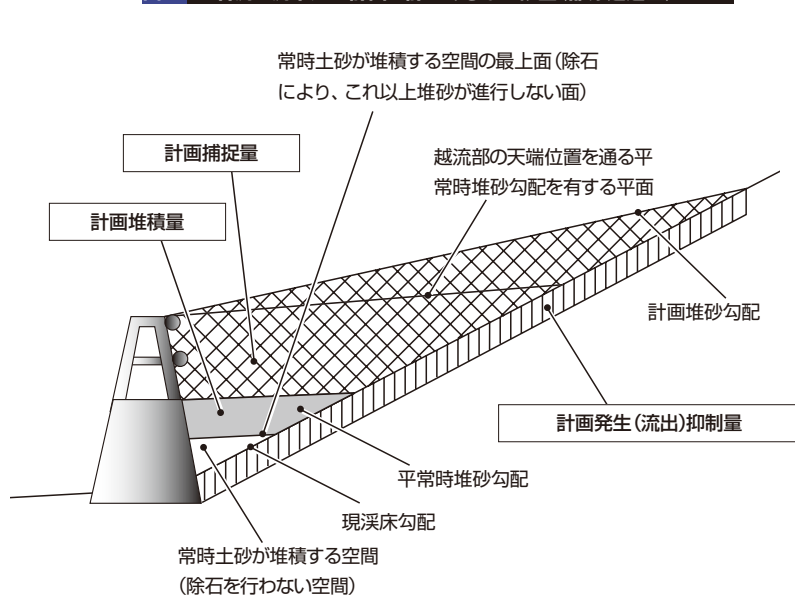


図-4 土石流・流木処理計画に計上できる土砂量(部分透過型)



本計画編でいう土砂処理計画に相当するもので、土石流対策技術指針(案)では「土石流量の処理」に流木の処理を追加したものである。土石流・流木処理計画は式(1)のように書ける。

$$V \cdot W \cdot (X+Y+Z) = 0 \cdots \cdots (1)$$

ここで、 $V$ ：計画流出量、 $W$ ：計画流下許容量、 $X$ ：計画捕捉量、 $Y$ ：計画堆積量、 $Z$ ：計画発生(流出)抑制量で、単位は全て $m^3$ である。 $V, W, X, Y, Z$ は土砂と流木の量を足し合わせたもので、それぞれ式(2)から(6)のようになる。

$$V = V_d + V_w \cdots \cdots (2)$$

$$W = W_d + W_w \cdots \cdots (3)$$

$$X = X_d + X_w \cdots \cdots (4)$$

$$Y = Y_d + Y_w \cdots \cdots (5)$$

$$Z = Z_d + Z_w \cdots \cdots (6)$$

ここで、 $V_d$ ：計画流出土砂量、 $V_w$ ：計画流出流量、 $W_d$ ：計画流下許容土砂量、 $W_w$ ：計画流下許容流量、 $X_d$ ：計画捕捉土砂量、 $X_w$ ：計画捕捉流量、 $Y_d$ ：計画堆積土砂量、 $Y_w$ ：計画堆積流量、 $Z_d$ ：計画土石流発生(流出)抑制量、 $Z_w$ ：計画流木発生抑制量で、単位は全て $m^3$ である。計画捕捉量及び計画堆積量を土石流・流木処理計画に計上するためには、定期的な除石(流木の除去を含む)と緊急除石(流木の除去を含む)からなる除石計画を策定し、その除石計画を実行する必要がある

図-2、図-3、図-4。

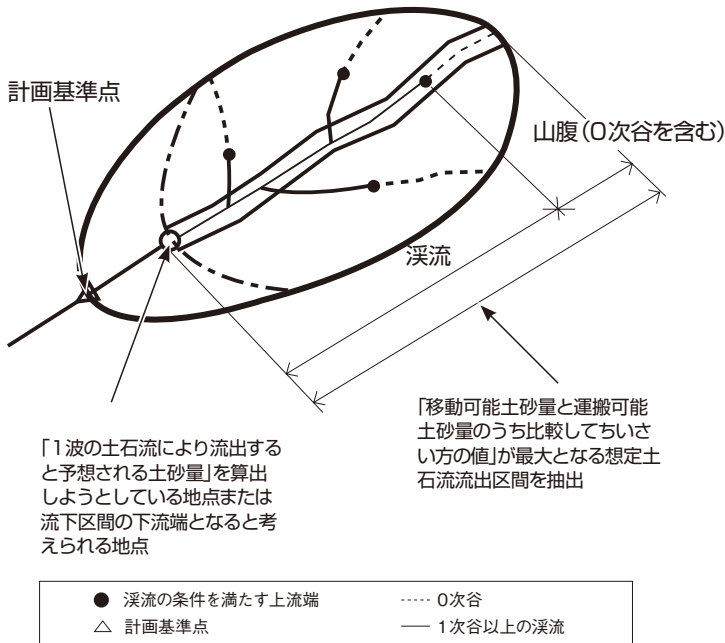
### 3 ……土石流ピーク流量と土石流の流速と水深

土石流ピーク流量は式(7)に示した「流出土砂量に基づく土石流ピーク流量の算出」方法に統一した。なお、土石流対策技術指針(案)の「降雨量に基づく土石流ピーク流量の算出」方法は、運用を砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)及び同解説に変更するまでの経過措置として、参考として記述した。

$$Q_{SP} = \frac{0.01 C_* \cdot V_{dap}}{C_d} \cdots \cdots (7)$$

ここで、 $Q_{SP}$ ：土石流ピーク流量( $m^3/s$ )、 $V_{dap}$ ：1波の土石流により流出すると想定される土砂量(空隙込み)( $m^3$ )、 $C_d$ ：土石流濃度、 $C_*$ ：渓床堆積土砂の容積濃度(0.6程度)である。 $V_{dap}$ は次のように算出する。まず、想定土石流流出区間を設定する。想定土石流流出区間は図-5に示した例のように、「 $Q_{SP}$ を算出しようとしている

図-5 想定土石流流出区間のイメージ図



地点」と「土石流の流下区間の下流端地点」のうち上流側の地点(図-5中の○印)から、山腹(0次谷)を含めた溪流にそって流域の最遠点までの区間をさす。流域が本溪のほか支溪を有する場合には、想定土石流流出区間が複数設定される。次に、各想定土石流流出区間における「移動可能土砂量」と「計画規模の年超過確率規模の降雨量によって運搬できる土砂量」(砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)2.7.3解説でいう「運搬可能土砂量」)を算出し、それらのうち小さい値を「流出すると想定される土砂量」とする。最後に、各想定土石流流出区間の「流出すると想定される土砂量」を比較して最も大きい値を $V_{dpp}$ とする。

土石流の流速と水深は式(8)、(9)、(10)を連立させて求める。

$$U = \frac{1}{K_n} D_r^{2/3} (\sin \theta)^{1/2} \dots\dots (8)$$

$$Q_{sp} = U \cdot A_d \dots\dots (9)$$

$$D_d = \frac{A_d}{B_{da}} \dots\dots (10)$$

ここで、図-6のように $D_r$ ：土石流の径深(m)(ここでは $D_r \equiv D_d$ (土石流の水深)とする)、 $\theta$ ：溪床勾配(°)、 $K_n$ ：粗度係数( $s \cdot m^{1/3}$ )、 $A_d$ ：土石流ピーク流量の流下

図-6 土石流ピーク流量の流下断面

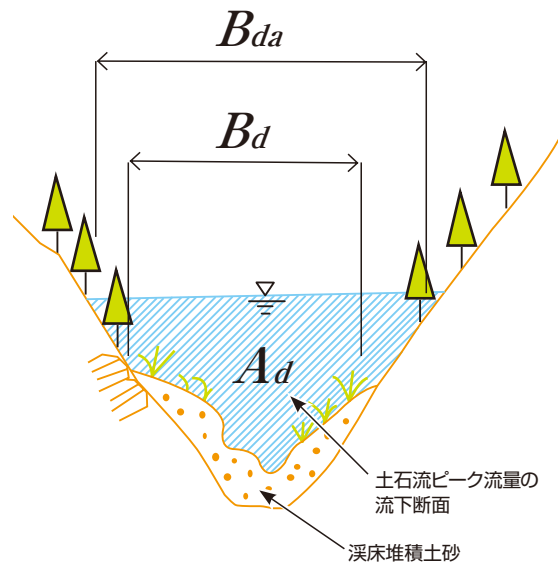
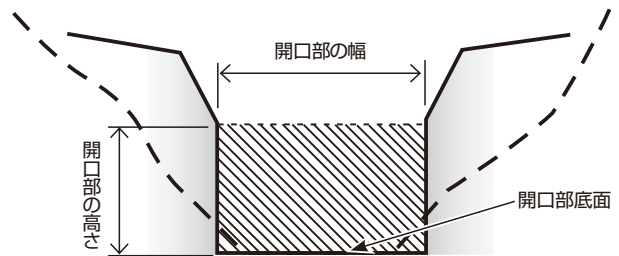


図-7 開口部



断面積( $m^2$ )、 $B_{da}$ ：流れの幅(m)である。

標準的な手順は、①水位と流下断面( $A_d$ )の関係の整理、②水位と流れの幅 $B_{da}$ の関係の整理、③①と②及び式(10)に基づく、水位と土石流の水深 $D_d$ の関係の整理、④③と式(8)、(9)に基づく、水位と流下能力 $Q_{sp}$ の関係の整理、⑤④による土石流ピーク流量に相当する流下能力の水位の算出、⑥⑤で得られた水位と③の関係に基づく、土石流の水深の算出、⑦⑥で得られた土石流の水深を式(8)に代入することによる土石流の流速の算出となる。

3

土石流・流木対策設計技術指針 解説の主なポイント

1 ……透過型・部分透過型の開口部

開口部の幅図-7は透過型の機能を十分生かせるように、かつ、土石流の到達前に砂防えん堤の上流に湛水が

表-1 透過部断面の形状

機能	水平純間隔	鉛直純間隔	最下段の透過部断面高さ
土石流の捕捉	$D_{95} \times 1.0^{*1}$	$D_{95} \times 1.0^{*1}$	土石流の水深以下 <sup>*2</sup>

\*1 水平純間隔・鉛直純間隔を最大礫径( $D_{95}$ )の1.5倍まで広げることができる。

\*2 最下段透過部断面高さを最大礫径( $D_{95}$ )の1.5倍まで狭くすることができる。

表-2 設計外力の組合せ(透過型)自重を除く

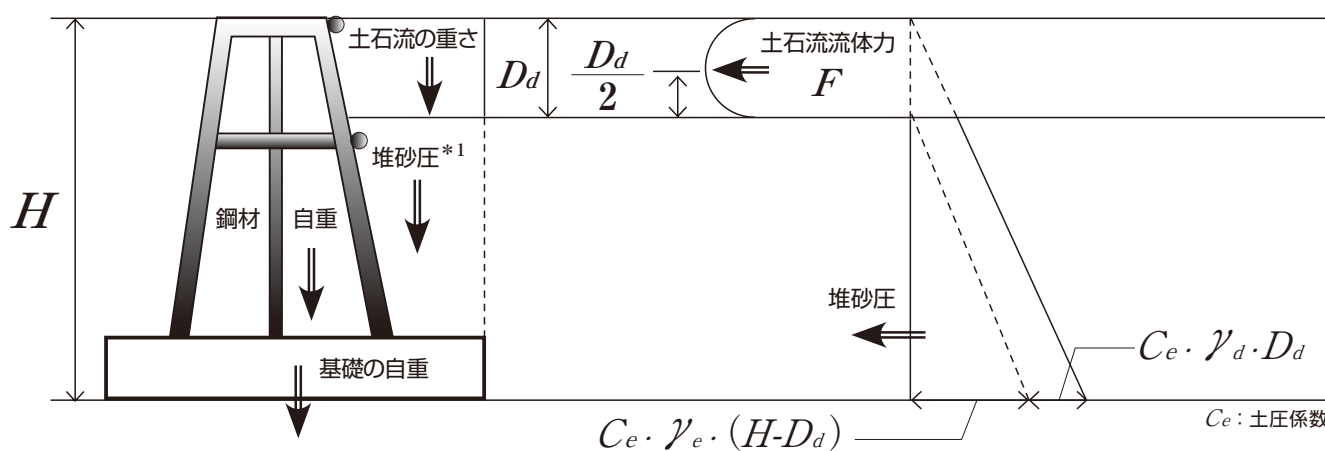
	平常時	土石流時	洪水時
えん堤高 15m未満		堆砂圧、 土石流流体力	
えん堤高 15m以上		堆砂圧、 土石流流体力	

15m以上の透過型砂防えん堤において、透過部の安定条件は15m未満の場合と同様とする。また、非越流部については、一般的に上流側ののり勾配が急な場合が多いため、未満砂の状態のときに下流側から地震時慣性力が作用する状態についても安全性を検討する。

表-3 設計外力の組み合わせ(部分透過型)自重を除く

	平常時	土石流時	洪水時
えん堤高 15m未満		静水圧、 堆砂圧、 土石流流体力	静水圧
えん堤高 15m以上	静水圧、 堆砂圧、 揚圧力、 地震時慣性力、 地震時動水圧	静水圧、 堆砂圧、 揚圧力、 土石流流体力	静水圧、 堆砂圧、 揚圧力

図-8 設計外力の作用位置(透過型)



\*1 堆砂圧の鉛直力を算出の際は、土砂の単位体積重量( $\gamma_e = C_e \cdot \sigma g$ )を用いる

生じないように、できるだけ広くとることとし、基本的に谷幅程度とする。

## 2 ……透過型・部分透過型の透過部断面

土石流を確実に捕捉し、一旦捕捉した土砂を土石流の流下中に下流に流出させないようにするため、透過部断面の形状は基本的に表-1に示すものとする。但し、平時の土砂を下流へ流す機能を持たせた上で、次の①と②の条件を全て満たす場合には、透過部断面の形状は表-1に示した以外のものでも良い。

① 土石流の水深以下の透過部断面が土石流に含まれる

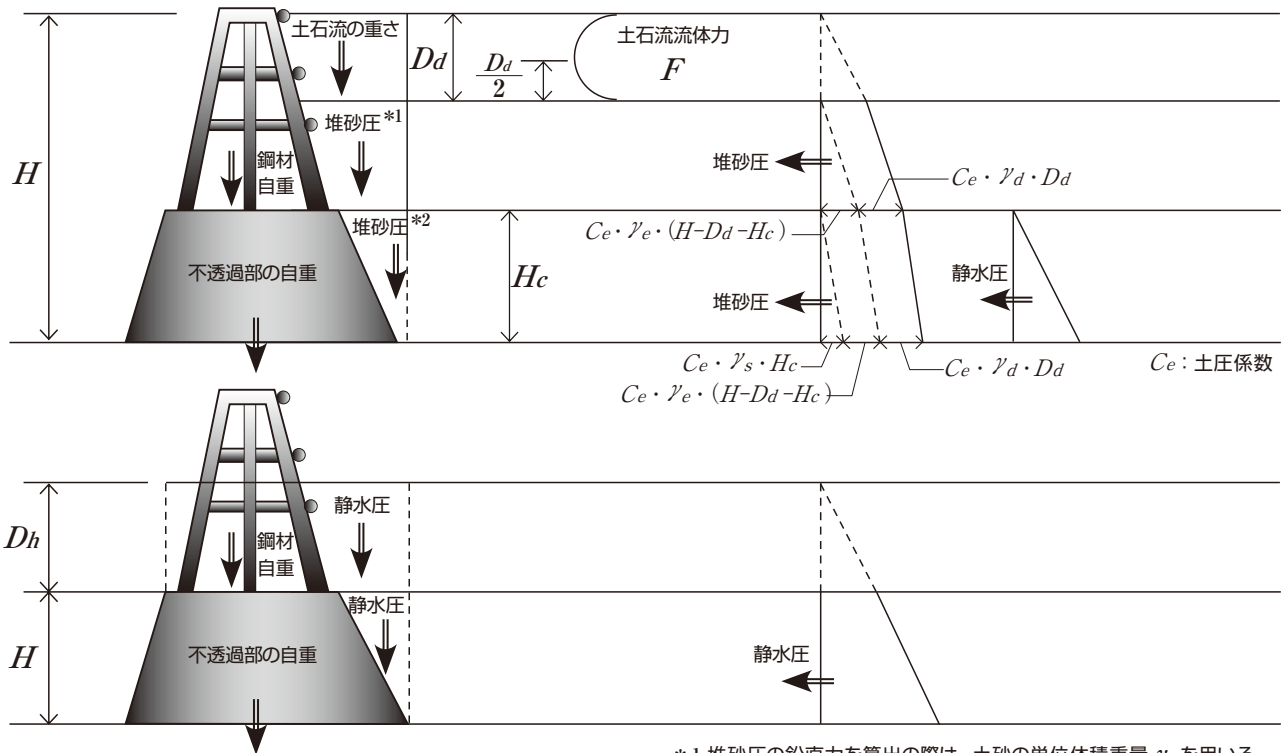
巨礫等により確実に閉塞するとともに、その閉塞が土石流の流下中にも保持されること。

② 土石流の水深よりも高い位置の透過部断面が土石流の後続流により確実に閉塞するとともに、その閉塞が土石流の後続流の流下中にも保持されること。

## 3 ……越流部の設計(透過型・部分透過型)

安定計算について説明する。透過型の場合、砂防えん堤および構造物の自重に加えて表-2に示した設計外力が図-8のように作用した状態で安定性を有するように、断

図-9 設計外力の作用位置(部分透過型)えん堤高15m未満の例：上段は土石流時、下段は洪水時



\*1 堆砂圧の鉛直力を算出の際は、土砂の単位体積重量  $\gamma_e$  を用いる  
 \*2 堆砂圧の鉛直力を算出の際は、水中での単位体積重量  $\gamma_s$  を用いる

表-4 設計外力の組合せ(構造計算)

ケース	土石流時	満砂時	温度変化時
自重	○	○	○
土石流流体力	○		
堆砂圧	○	○	
温度応力			○
許容応力度の割増係数	1.5	1	1.15

表-5 設計外力の組合せ(透過型)自重を除く (透過型・非越流部安定計算)

	平常時	土石流時	洪水時
えん堤高15m未満		静水圧、堆砂圧、土石流流体力	
えん堤高15m以上	地震時慣性力	静水圧、堆砂圧、揚圧力、土石流流体力	

面を設計する。部分透過型の場合における安定計算は、砂防えん堤および構造物の自重に加えて表-3に示した設計外力が図-9のように作用した状態で安定性を有するように、断面を設計する。但し、越流部の不透過部の天端幅は礫および流木の衝突によって破壊されないよう決定し、衝突する最大礫径の2倍以上を原則とする。

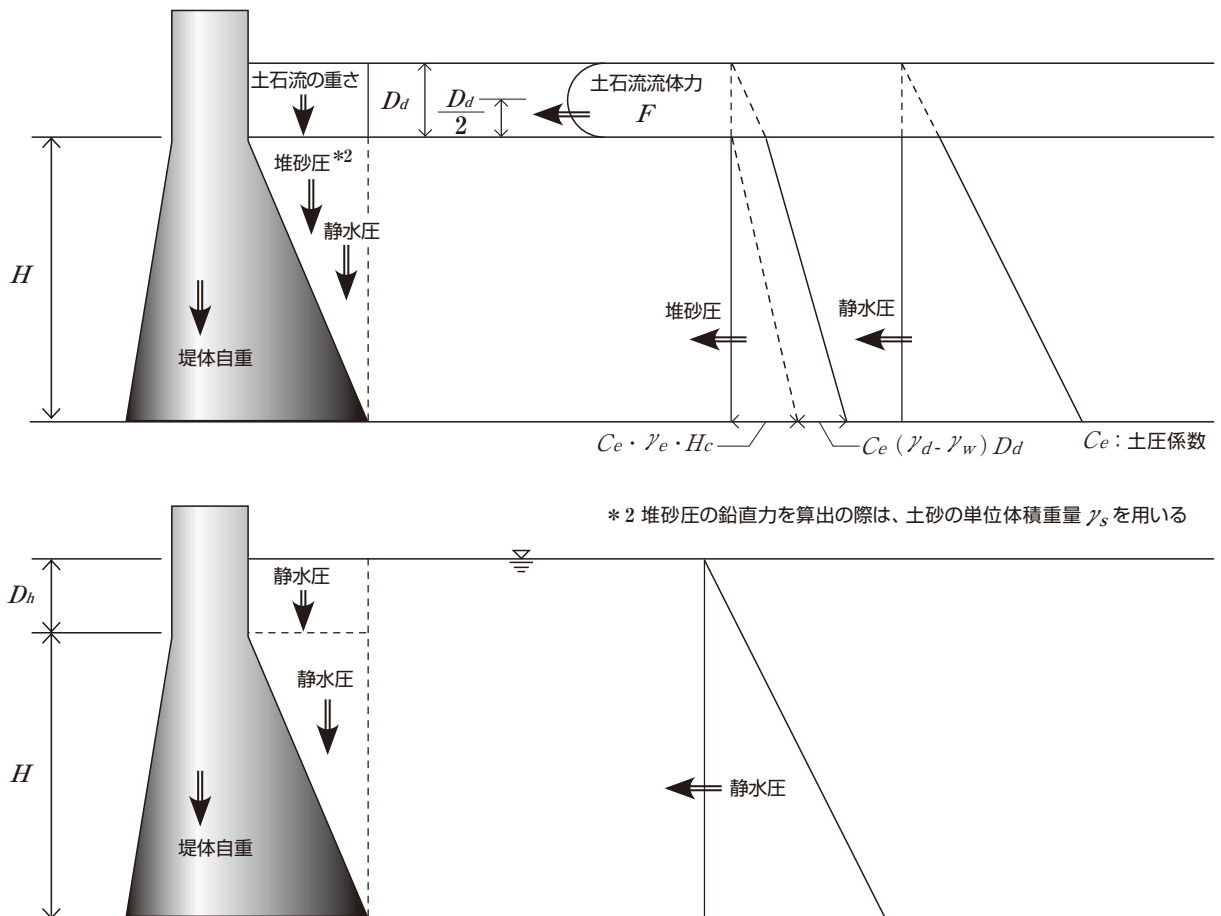
構造計算について説明する。表-4に示した設計外力に対し安全になるよう部材を設計する。また、一部の部材が破損したとしても砂防えん堤全体が崩壊につながらないように、フェールセーフの観点から、できるだけ冗長性(リダンダンシー)の高い構造とする。

なお、土石流を捕捉する目的で配置される部材(機能部材)のうち、構造物の形状を保持するための部材(構造部材)に相当しない場合には、土石流中の石礫を捕捉できれば目的を達成するため、塑性変形を許容することができる。

4 ……非越流部の設計(透過型・不透過型・部分透過型)

安定計算について非越流部は自重に加えて、透過型の場合では表-5に示した設計外力が、不透過型と部分透過型の場合では不透過型の越流部の設計外力が作用する

図-10 設計外力の作用位置(えん堤高15m未満の例:上段は土石流時、下段は洪水時)



として安定計算を実施し設計する。図-10は設計外力の作用例としてえん堤高15m未満の場合を示したものである。但し、袖部の断面は、「袖部の自重」、「土石流流体力」、「礫の衝撃力と流木の衝撃力を比較して大きい衝撃力」の3つの設計外力に対して、次の1)から4)までを満たす断面とする。

- 1) 袖部の上流のり勾配は直とすることを原則とする。
- 2) 袖部の下流のり勾配は直または、本体の下流のり勾配に一致させる。
- 3) 袖部の下流のり勾配を本体の下流のり勾配に一致させた場合、袖部の天端幅は1.5mを下限とする。
- 4) 設計外力に対して、袖部と本体の境界面上におけるせん断摩擦安全率は4以上とする。

その後、前述の3つの設計外力を作用させた場合において、袖部と本体の境界面上に生じる引張応力を計算する。許容引張応力以上の引張応力が生じている場合には、引張応力を鉄筋あるいは鉄骨で受け持たせるものとし、それらの鉄筋あるいは鉄骨は袖部と本体の境界面をまたぐように配置する。

#### 4 おわりに

近年、総合的な土砂管理に見られるように、防災だけでなく環境や景観に配慮した砂防設備が望まれている。このような背景から、流砂の調節や土石流・流木の捕捉を効率的に発揮できるだけでなく、河床位や流水の連続性を断ち切ることなく、また、動物や魚類等の往来をほぼ妨げることのない構造を有する透過型や部分透過型の砂防えん堤が着目され、これまでに数多く設置されてきた。

また、それらの効果の実態も徐々にではあるが、明らかになってきている。このような背景から、今後も透過型や部分透過型の砂防えん堤が積極的に計画され、建設されていくことになり、技術基準や技術指針の更なる高度化が求められると考えられる。透過型や部分透過型に期待する効果の実態を現地で調査し、蓄積していくことで、それらの知見を高度化し、技術基準や技術指針の次期改定時に反映させていきたいと考えている。