

# 土砂バイパストンネル計画策定のための 参考手引き（案）の概要について

Summary of the “Draft reference guidance for the development of  
sediment bypass tunnel plan”

研究第二部 上席主任研究員 田 淵 典 之  
研究第二部 部付部長 小 野 雅 人  
技術参与兼研究第二部長 中 村 伸 也

土砂バイパストンネルは、貯水池堆砂対策及びダム下流河川環境の改善施策として恒久的な効果が期待できる有力な工法である。土砂バイパストンネル施設計画にあたっては、必要かつ適切な規模や配置検討を行い、効率的な運用により排砂効果を最大限発揮することができるように計画することが重要である。しかし、土砂バイパストンネルは世界的に見てもまだ施工事例が少なく、個別ダムごとの状況に応じて施設計画・設計が進められているのが実情である。

このような背景を踏まえて、当財団では、堆砂対策の調査研究を目的とした「ダム土砂マネジメント研究会」の指導・助言を得ながら、効率的、経済的な土砂バイパストンネルの計画・設計手法の体系化の検討を進めてきた。これらの検討成果については、「土砂バイパストンネル計画策定のための参考手引き（案）」として、土砂バイパストンネル計画検討における検討手順・判断基準等を取りまとめているところであり、令和4年度中に公表する予定である。本報は、この参考手引き（案）の内容について、先行して紹介するものである。  
キーワード：土砂バイパストンネル(SBT)、計画検討、標準検討フロー、適用性評価、設計・管理上の留意点

Sediment bypass tunnels are a promising method that can be expected to be permanently effective as a measure to prevent sedimentation in reservoirs and to improve the river environment downstream of dams. In planning a sediment bypass tunnel facility, it is important to consider the necessary and appropriate size and layout, and to plan for efficient operation to maximize the sand removal effect. However, there are still few examples of sediment bypass tunnel construction worldwide, and the reality is that facility planning and design are carried out according to the conditions of each individual dam.

Against this background, the Foundation has been studying the systematization of efficient and economical planning and design methods for sediment bypass tunnels, with guidance and advice from the "Dam Sediment Management Study Group," which aims to conduct research on sediment control measures. The results of these studies are being compiled into a "Draft reference guidance for the development of sediment bypass tunnel plan," which outlines the procedures and criteria for sediment bypass tunnel planning, and is scheduled for release in FY2022. This report introduces the contents of the Draft Reference Guide in advance.

Key words : Sediment bypass tunnel (SBT) , Planning study, Standard study flowchart, Applicability evaluation, Considerations for design and management

## 1. はじめに

土砂バイパストンネル（以下「SBT」という。）は、貯水池堆砂対策及びダム下流河川環境の改善施策として恒久的な効果が期待できる有力な工法である。しかし、SBTは世界的に見てもまだ施工事例が少なく、個別ダムごとの状況に応じて施設計画・設計が進められているのが実情である。今後、より効率的、経済的な

SBTを計画・設計する上では、SBTの計画・設計手法の体系化が不可欠である。

当財団では、平成20年度に発足した「ダム土砂マネジメント研究会（委員長 角哲也 京都大学防災研究所教授）」（以下「研究会」という。）において堆砂対策の調査研究を行ってきたが、平成25年度からSBTに調査研究の軸足を置き、効率的、経済的なSBTの計画・設計手法の体系化の検討を進めてきた。これらの検討

成果については、SBT計画検討における検討手順・判断基準等を国内外のSBTの事例調査結果等に基づいて整理した「土砂バイパストンネル計画策定のための参考手引き(案)」(以下「参考手引き(案)」)としてとりまとめているところであり、令和4年度中に公表する予定である。本報は、この参考手引き(案)の内容について、先行して紹介するものである。

## 2. 参考手引き(案)の構成と内容

参考手引き(案)の構成は、「第1章 総則」、「第2章 土砂バイパストンネル計画検討のための調査」、「第3章 土砂バイパストンネル計画検討」、「参考資料」からなる。各章の概要を表-1に示す。

参考手引き(案)では、SBTの対象流量、トンネルの平面線形・縦断線形、分派ルールの設定、分派対象の土砂量・粒径など、バイパス施設の基本諸元や配置に関わる事項について、SBTを計画検討する際の基本的な考え方を示している。また、SBTの構造物設計や維持管理段階で留意すべき事項についても巻末の参考資料にとりまとめ、これによりSBTの設置の検討を行う際に、管理段階までを考慮した必要な取り組みについての見通しを持てるようにしている。

表-1 参考手引き(案)の概要

項目	内容
1. 総則	目的や基本的な考え方を整理する。
2. 土砂バイパストンネル計画検討のための調査	SBT計画検討に向けて必要となる情報を整理する。
3. 土砂バイパストンネル計画検討	SBTの計画検討における基本諸元設定の考え方、貯水池特性を踏まえた適用性検討手法について整理する。
参考資料	SBTを設計、管理(運用)する際の留意点、ダム機能向上に向けた検討について整理する。

表-2 標準検討フローにおけるトンネル諸元の目安(事例分析結果から設定)

項目	目安	設定理由
トンネル延長	$L < 10\text{km}$	バイパストンネルの高低差がダム高程度とした場合、ダム高を100m程度とし、トンネル延長は $L = \text{ダム高} / \text{トンネル勾配}$ から算出。 : $L_{\text{max}} \doteq 100 / (1/100) = 10,000\text{m}$
縦断勾配	$i = 1/100 \sim 1/20$	縦断勾配が大きくなれば、流速が大きくなることから、排砂の効率性(能力)、水理的安定性、土砂摩耗対応の面を考慮。
トンネル径	$D = 3\text{m} \sim 10\text{m}$	トンネル径は、大規模でも小規模でも施工が困難になるものと想定され、施工上の制約から設定。
設計流速(最大流速)	$V = 10\text{m/s} \sim 15\text{m/s}$	トンネル内の流速は、トンネル内の水理的安定性を考慮。
排砂単価	代替する排砂手法の単価に合わせ個別に設定。それが困難な場合の目安は4,000円/ $\text{m}^3$	掘削・ダンプ運搬機の代替手法による堆砂対策を行った場合の単価(全国平均で4,000円/ $\text{m}^3$ 程度) (参考)日本の49ダムの建設費から算定した有効容量1 $\text{m}^3$ 当たりの平均単価=3,992円/ $\text{m}^3$

## 3. SBT 計画検討

### 3.1 SBT計画の標準検討フロー

SBTの適用性について検討を行う際には、図-1に示すSBT計画の標準検討フロー(以下「標準検討フロー」という。)を用いて概略的に評価することができる。

標準検討フローに基づいて検討を行う際に最初に行うことは、貯水池平面図等を基にSBTの設置場所の候補となるルートと呑口・吐口の位置の候補を考えることである。呑口と吐口の候補地点を定めればトンネル勾配も概ね定まり、候補としたルートの延長や勾配が一般的なSBTの適用範囲に収まっているかを確認できる。

次に、ダム湖に流入する流量を把握し、L-Q式を用いて流入土砂量を推計する。トンネルを流下する排砂量は、ダム湖に流入する流量とトンネルを流下する流量及び土砂の分派特性によって決まる。あわせて、トンネル設計流量とトンネル径の関係も整理する。その上で、トンネル設計流量の設定により、排砂単価がどのように変化するかを確認し、最も経済的な案を基本としつつ、リスク管理の視点も考慮して最適案を選ぶ。標準検討フローにおけるトンネル諸元の目安を表-2に示す。

### 3.2 SBTの適用性評価

SBTの適用性については、当該ダムで設定したSBT諸元、排砂率に基づいて判断する。図-1に示した標準検討フローは、SBTの適用性を体系的かつ標準的に評価することを目的として、地形条件や国内外のSBTの事例に基づいて、構造諸元、排砂単価を制約条件として与えるとともに、対象流量がダムの計画最大放流量の内数であるかを確認する過程を加えて作成したものである。

SBTの適用性評価については、前報<sup>1)2)</sup>で紹介しているが、本報では研究会の指導・助言によりブラッシュアップした内容となっている。標準検討フローにおける各段階の判断基準の考え方を以下に示す。

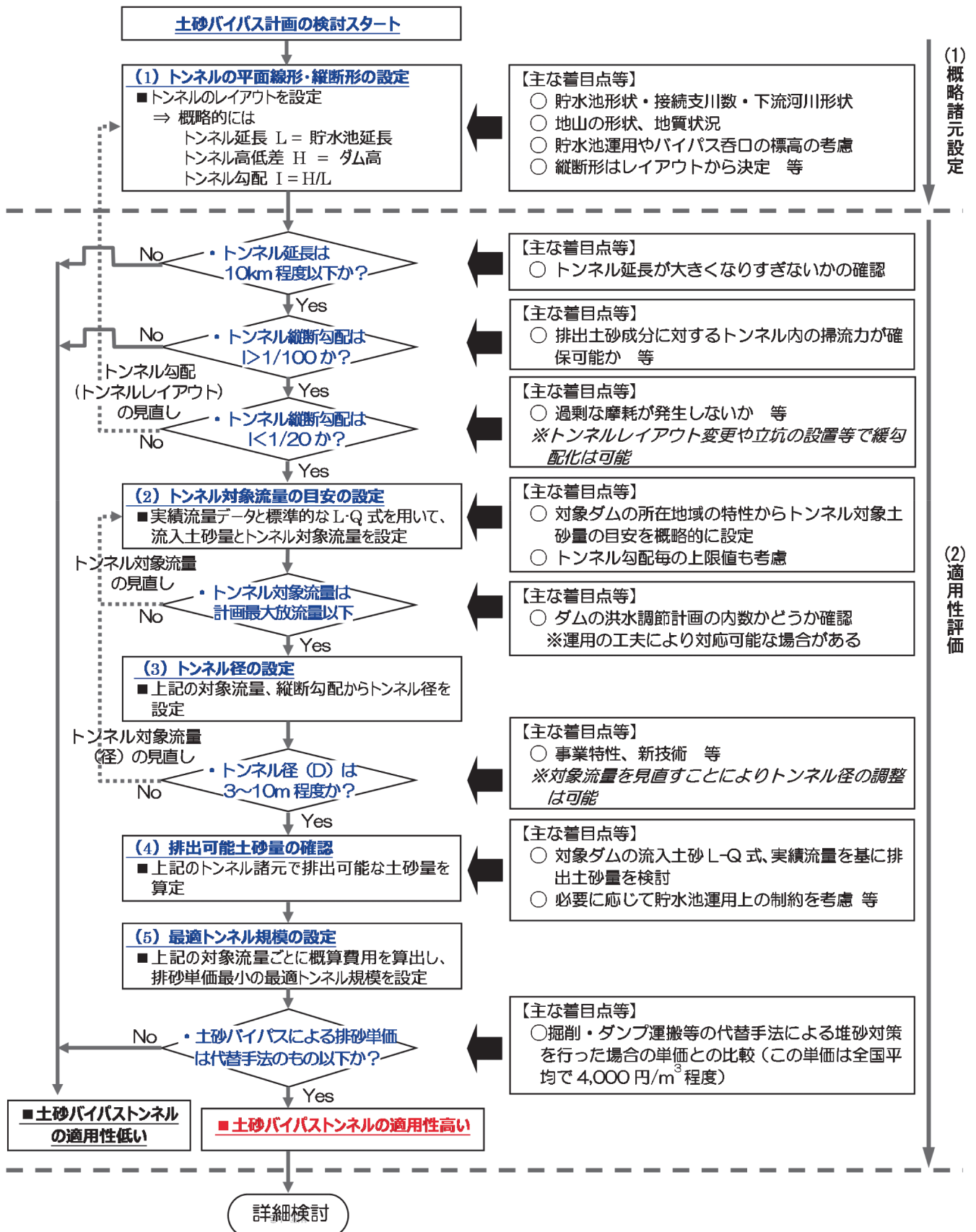


図-1 SBT計画の標準検討フロー

## (1) トンネルの平面線形・断面形の設定

SBTの適応性評価に先立ち、ダム・貯水池周辺の地形図及びダムの貯水池運用条件等から、SBTの概略諸元として、呑・吐口位置、トンネルルート（平面形）を設定する。

呑・吐口位置及びトンネルルートは、経済性やトンネル勾配確保の観点から極力トンネル延長が短くなるように設定するものとし、検討に当たっての留意点は以下のとおりである。

### ①呑口位置

SBTの呑口位置は、ダム接続河川が複数存在する場合には、土砂流入が顕著な河川を優先して配置することが望ましい。

また、貯水池に流入する土砂を効率よく排砂するためには、洪水調節中においても活発に土砂が移動する貯水池末端付近（洪水時最高水位よりも上位標高）を基本とし、河道線形や周辺施設の有無等を考慮して呑口構造を配置可能な位置に呑口を設定する。

### ②吐口位置

SBTの吐口は、ダム下流河川の河道線形や周辺施設の有無等を考慮して減勢工を配置可能であり、極力スムーズに合流できる位置に設定する。

### ③トンネルルート

トンネルルートは、山体の尾根筋や断層等の地形・地質特性、横過する支川の有無等を踏まえて、構造的な安全性が確保可能なルートを設定する。

また、トンネルとダム本体及びダム関連工作物（仮排水トンネル、カーテングラウト工、試掘横坑）との離隔距離が短くなると、トンネル空洞部周辺の発生応力が関連工作物に変位等の影響を及ぼす可能性があることから十分な離隔を確保する必要がある。

### ④トンネル勾配

トンネル勾配は、呑口位置標高、吐口位置標高の高低差とトンネル延長から設定される。

なお、トンネルの勾配は、適切な管内流速を確保して土砂が内部に堆積しないようにするため、呑口付近は相対的に急勾配にし、中下流部は緩くするが、概略諸元の設定の際には一律の勾配を仮定すれば良い。

### ⑤トンネル延長

上記で設定したトンネル延長（L）が10km程度以下か確認する。

トンネル縦断勾配の目安は下記のとおり約1%（約1/100）が下限であり、ダム高≒高低差とした場合には100m級のダムで延長10kmとなることから同程度を上限值の目安とした。

### ⑥トンネル縦断勾配

トンネル縦断勾配（I）が  $1/100 < I < 1/20$  の範囲か確認する。

トンネル縦断勾配  $I < 1/100$  の場合には、排出土砂成分に対するトンネル内の掃流力を確保できない可能性がある。また、トンネル縦断勾配  $I > 1/20$  の場合には、トンネル内で高速流が発生し、過剰な摩耗が発生する可能性がある。これらの場合はトンネルレイアウトの変更や立坑の設置等が必要である。

## (2) トンネル対象流量の目安の設定

実績流量データと標準的なL-Q式を用いて、流入土砂量とトンネル対象流量を設定する。

### ①流入土砂量の設定

ダムへの流入土砂量は、以下に示す簡易的な統計手法である土砂量Lと流量Qの相関式より算出する<sup>3)</sup>。

$$L = a Q^{\beta}$$

ここで、L：土砂量（ $\text{m}^3/\text{s}$ ）、Q：流量（ $\text{m}^3/\text{s}$ ）、 $a$ 、 $\beta$ ：係数である。

各ダムの最適トンネル規模の設定においては、ダムごとの実績の流量と流入土砂量より、粒径階ごとに個別にL-Q式を設定することが望ましい。しかし、SBTの概略的な適用性判断の段階での検討においては、下記に示す手順で設定することも可能である。

$a$ は土砂量の大小に係るパラメータであり、実績流入量データ（時間データ）から算出した年平均流入土砂量が各ダムの平均年堆砂量に一致するように設定する。 $\beta$ については、一般的な $\beta = 2.0$ を使用して排砂率を評価することを基本とする。

L-Q式に使用する粒度構成は、それぞれのダムで実測されたものを使うことが望ましい。ただし、十分なデータが無い中で概略の検討を行う場合には、櫻井ら（2003）<sup>4)</sup>によって整理された日本の27ダムの貯水池内堆積土砂の粒度構成と流入土砂の粒度構成が把握できている日本の15ダムの平均値を基に、礫（2mm以上）：15%、砂（0.075～2.0mm）：35%、シルト・粘土（0.075mm以下）：50%という値を用いることも考えられる。

### ②トンネル対象流量の設定

図-2に示す既往のSBT設計流量（実績や比流量）を参考に、トンネル設計流量として可能性がありそうなレンジの流量（トンネル対象流量）を5～7ケース程度設定する。このときのトンネル対象流量の上限は計画最大放流量以下とする。トンネル対象流量のレンジが広いダムの場合は、概略と詳細の二段階に分けて検討するかケース数を増やすことも必要である。

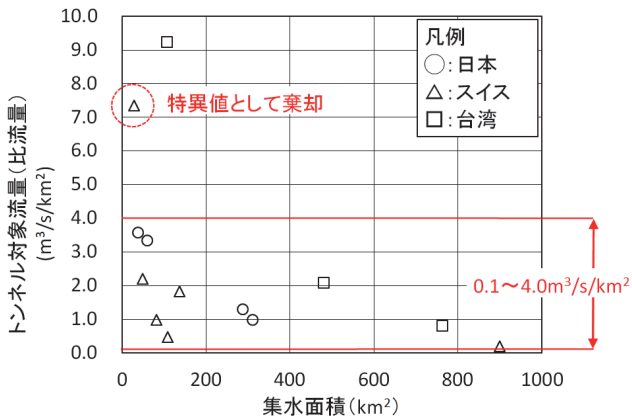


図-2 SBT事例における集水面積とトンネル設計流量(比流量)の関係

### (3) トンネル径の設定

上記で設定したトンネル対象流量ごとに、当該ダム  
のトンネル縦断勾配から必要トンネル径を設定する。  
また、トンネル対象流量ごとのトンネル内流速につい  
ても算定する。

トンネル径 (D) は施工上の制約から  $3\text{m} \leq D \leq 10\text{m}$ 、  
トンネル内の流況面からトンネル内流速 (V) は  $V \leq 15\text{m/s}$  を目安とする。トンネル径及びトンネル内流速  
がこの目安の範囲内とならないトンネル対象流量は、  
トンネル設計流量の候補から除外する。

参考に最大流速を  $15\text{m/s}$  と仮定した場合のトンネル  
勾配ごとの最大トンネル径・最大対象流量の関係を図  
-3に示す。

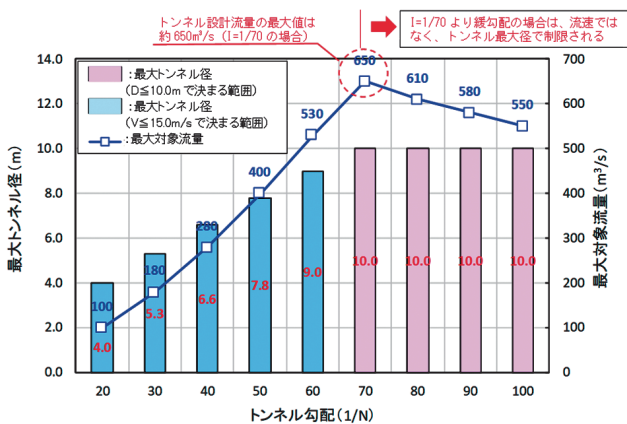


図-3 最大流速を  $15\text{m/s}$  と仮定した場合のトンネル勾配ごとの最大トンネル径・最大対象流量の関係

### (4) 排出可能土砂量の確認

上記のトンネル諸元で排出可能な土砂量を算定す  
る。

#### ① SBTの運用条件

標準検討フローでは、将来的な SBT 設置の適用性を  
評価することを主目的としていることから、分派開始

の流入量・貯水位とも制限を設けず、分派ルールは下  
記のとおりとし、実運用は考えないものとした。

- ・バイパス最大流量  $\geq$  流入量の場合：  
バイパス流量 = 流入量
- ・バイパス最大流量  $<$  流入量の場合：  
バイパス流量 = バイパス最大流量

#### ② 土砂分派条件

上記の SBT の運用条件に対し、土砂の分派条件は下  
記のとおり設定する。

- ・掃流砂：全量バイパストンネルから下流へ放流  
(ただし、何らかの大粒径土砂の流入制  
限対策を講じる場合には、その効果も勘  
案し設定する。なお便宜上、粒径設定  $d$   
=  $2.0\text{mm}$  以上をここでは掃流砂として、  
それ未満を浮遊砂として扱う。)
- ・浮遊砂：バイパストンネルへの分派流量比率と同  
じ比率

#### ③ 排砂シミュレーションの実施

上記の条件に基づいて、下記の手順でトンネル対象  
流量ごとの(平均年)排出可能土砂量を算出する。

- 1) バイパス最大放流量を複数ケース設定
- 2) ダム流入量に対するケースごとのバイパス放流  
率の算出 (バイパス放流量/ダム流入量)
- 3) L-Q式からダム流入量に対する土砂流入量 (掃流  
砂・浮遊砂) を算出
- 4) ケースごとの放流率から排出土砂量を算出
- 5) ケースごとの総流入土砂量と総排出土砂量から  
排砂率 (= 総排出土砂量/総流入土砂量) を算出

### (5) 最適トンネル規模の設定

上記の対象流量ごとに概算費用を算出し、排砂単価  
最小の最適トンネル規模を設定する。

#### ① トンネル設計流量ごとの排砂単価の算出

上記で算出したトンネル設計流量ごとの「排出可能  
土砂量 (100年間)」及び「トンネル建設費+トンネル  
維持管理費 (100年間)」から下式に基づいて排砂単価  
を算出する。なお、SBT 建設費用や維持管理費の検討  
方法については本報では割愛するが、小野ら (2021)<sup>5)</sup>  
によって報告されているので参照されたい。

- ・排砂単価 (千円/  $\text{m}^3$ )  
= (初期費用 (SBT 建設費用) + トンネル維持管理  
費 (100年間)) / 排出可能土砂量 (100年間)

#### ② 最適トンネル規模の設定

トンネル規模ごとの排砂単価に基づいて、排砂単価  
が最小となる規模を採用する。図-4 に SBT 単独での  
最適規模設定事例を示す。

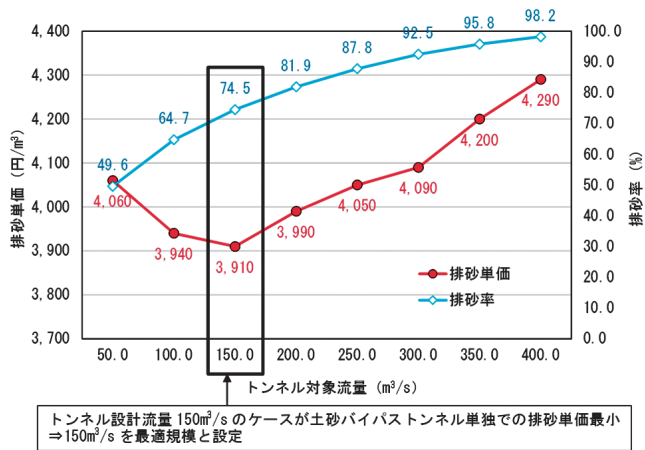


図-4 最適トンネル規模の設定事例

### ③ 排砂単価の確認

上記で設定した最適トンネル規模における排砂単価が他の工法と比較して、有効なものになっているか確認する。代替する排砂手法の単価設定が困難な場合は、一般的な排砂単価の目安である4,000円/m³との比較を行い、SBTの適用性を評価することができる。

## 4. SBT の設計・管理に向けた留意点

SBT施設は、設定した計画排砂量（流下量）を安全かつ確実に流下させることはもとより、施工性や経済性、将来的な維持管理面に配慮した形状・構造の施設設計を行うことが重要である。また、施設を継続的に運用していくためには、施設内を通過する砂礫・石礫による摩耗損傷への対応（点検・補修等）を考慮した維持管理や、施設を通過した土砂の放出先であるダム下流河川における物理環境・生物環境への影響を把握する必要がある。

このため参考手引き（案）では、施設の形状や構造に関わる事項について設計上留意が必要な点や、施設の維持管理や下流河川の影響評価の観点から留意が必要な点を整理している。

### (1) SBT設計に向けた留意点

#### ① トンネル断面形状の設定

SBTのトンネル断面形状の設定にあたっては、対象流量や流入土砂の量・粒径を踏まえた上で、安全性が確保可能な断面を設定する必要がある。また、流下時の安全性に加え、経済面、施工面及び将来的な維持管理面にも配慮した上で、断面形状を設定する必要がある。

具体的には図-5に示すように、維持管理面で摩耗損傷を分散させるといった観点から、インバート部を平坦な形状とする方が有利となる。

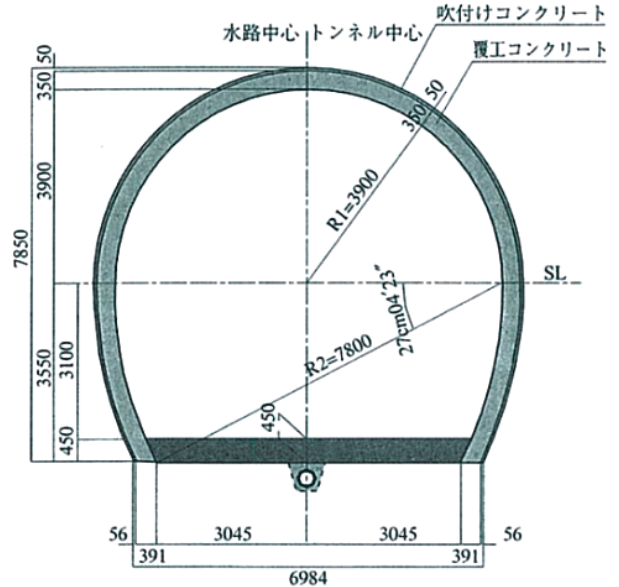


図-5 SBT断面形状の設定事例（美和ダムSBT）<sup>6)</sup>

#### ② 分派堰及び貯砂ダムの設計

分派堰（及び上流に設置する貯砂ダム）の設計にあたっては、分派対象となる土砂の量・粒径や必要規模を踏まえた上で、十分な耐久性、貯砂容量を有するように、分派堰・貯砂ダムの構造形式を選定する必要がある。また、施工性の確保、現地発生材の活用、基礎部の地質性状等にも考慮し、貯砂ダムの構造形式（コンクリート、ブロック、二重鋼矢板構造等）を選定する必要がある。

#### ③ 呑口部の設計

SBT呑口部の設計にあたっては、流入土砂の量・粒径、ならびに流木の流入特性を踏まえた上で、閉塞防止対策を講じる必要がある。

具体的な対応としては、呑口部周辺で十分な流速が確保できない場合には、図-6に示すように、呑口部からトンネルへの導流区間はシュート形状として、土砂の堆積を抑制する。

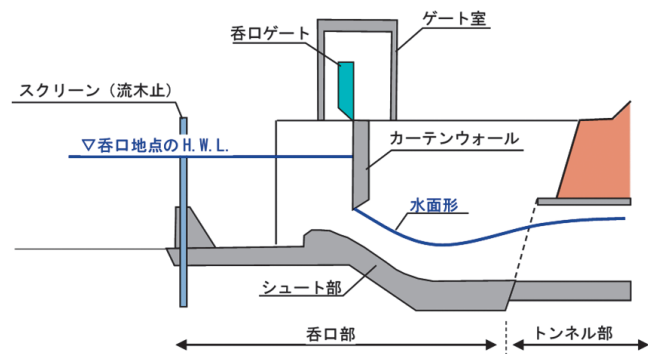


図-6 呑口部周辺構造のイメージ

#### ④吐口部の設計

SBT吐口部の設計にあたっては、吐口部周辺の河道線形や保全対象施設を踏まえ、トンネルからの放流に対して、所定の減勢効果が得られる構造とする。

具体的には、トンネル放流方向を下流河道の流下方向に向けた設計や、自由落下式や階段式等を適切な減勢工方式を採用する。

#### ⑤摩耗対策の検討

摩耗対策の検討にあたっては、全粒径をバイパス対象とする場合には、トンネル施設の安全性確保ならびに維持管理費の削減の観点より、各施設を通過する土砂に対して摩耗対策を講じる必要がある。また、構造的弱部となる箇所等において局所洗堀が発生した場合には、急速に摩耗が進行するため、弱部対策を講じる必要がある。

具体的な対応としては、バイパス対象土砂の粒径が粗い場合には、呑口部のシュート部は鋼製ライニングを、インバート部は高強度コンクリートを基本とする。

なお、SBTライニング等の摩耗量の予測については、現時点で十分な予測精度が確保できているとは言えない。特に、施設内を通過する礫の硬軟による摩耗損傷程度の違いなどについては、まだ十分な知見が得られていないのが実情である。図-7に、トンネルインバートの損傷事例<sup>7)</sup>を示す。

このため、今後のSBT摩耗対策を検討するにあたって、国内外の事例等からライニングの材質、流下土砂の量、粒径、地質等の関係から摩耗量の推定方法に関する検討を進めて予測精度を向上させることが重要と考える。

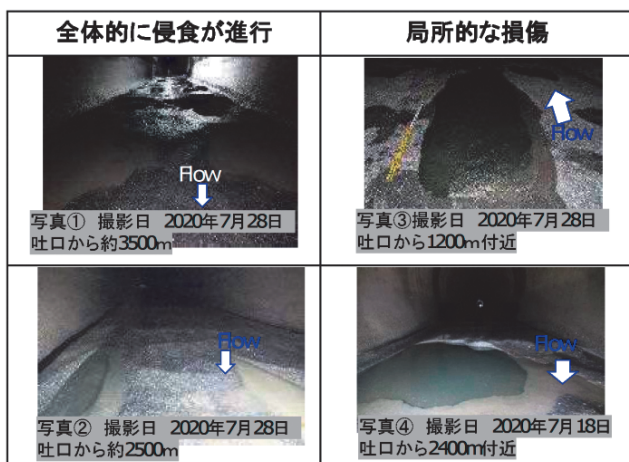


図-7 トンネルインバートの損傷事例（小渋ダムSBT）

#### (2) SBT管理に向けた留意点

SBTを継続的に運用していく上での、施設の点検方法、補修方法など、施設の維持管理や適切かつ持続的

な排砂に関わる事項について、下記に示すような点に留意して設定する必要がある。

#### ①点検方法

SBT施設の維持管理を実施する上では、排砂の実施に伴う摩耗損傷状況や閉塞状況の把握を主目的として、定期的に点検を実施する必要がある。点検項目は、クラックや坑口付近の変状等に加え、面的な摩耗量の計測を実施する。

また、各バイパストンネルの排砂（分派）の頻度と個々の運用時間と流入流量等を考慮に入れ、例えば、“通算総流量が所定値に達した場合”にといった基準を設けて点検を実施する。

#### ②補修方法

施設補修するにあたって、偏圧（土圧）や摩耗損傷の影響等によりトンネル内に破損が生じた場合には、機能維持のために補修を実施する必要がある。

具体的には、トンネルの一般的な補修メニュー（クラック注入、炭素繊維・鋼板補強等）に加えて、摩耗により損傷を受けた部分は高強度コンクリートの打設による補修を基本とする。

#### ③分派機能の維持

SBT施設の分派機能を確実に維持するためには、分派堰（貯砂ダム）が満砂状態に近づくと、所要の分派機能を発揮できないことが想定されることから、継続的に維持掘削を実施する必要がある。

#### (3) SBT運用後のモニタリングに向けた留意点

SBTの運用開始に伴う土砂動態（排砂効果）や河川環境の変化等を把握し、その結果を分析することにより、その後の順応的なダム管理（土砂管理）を推進していくため、適切なモニタリング計画の立案・継続的なモニタリングの実施が必要である。

#### ①SBTの効果

SBTによる排砂効果を把握するために、バイパス土砂量を計測することが重要である。しかしながら、バイパス土砂量を精度良く計測することは困難であることから、現地での計測と数値解析による推定を組み合わせることによりSBTによる排砂効果を把握することを基本とする。

#### ②環境モニタリング調査

SBTは、濁質成分を含む土砂を上流河川や貯水池から下流域に輸送することができ、下流河川の環境機能を向上させる可能性を有している。このため、SBTの運用開始に伴う河川環境の変化等を把握し、その結果を分析するための環境調査を計画・立案する必要がある。図-8に環境モニタリング調査地点の例<sup>8)</sup>を示す。

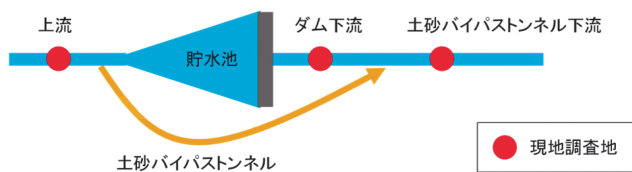


図-8 環境モニタリング調査地点の例

## 5. まとめ

参考手引き(案)では、SBT適用性のチェックをダム管理担当事務所などが的確に行うことができるように、検討手順や判断基準などを示している。また、安全かつ効率的なSBTの建設・管理・運用に向けて留意すべき事項などについても整理している。この参考手引き(案)は、令和4年度中にとりまとめ、当財団ホームページで公表する予定である。

今後、この参考手引き(案)を参考に、SBTによるダム貯水池土砂管理の取り組みが進み、実績・経験の積み重ねの中から、より一層的確かつ効果的なSBTの維持管理も視野に入れた計画立案、設計、施工、管理が進められ、適切な貯水池土砂管理がなされることを期待したい。

## 謝辞

本報で紹介した参考手引き(案)を作成するにあたり、研究会において貴重な指導・助言を頂いた委員の皆様方(表-3)、また研究会資料作成にあたりデータの整理等にご尽力頂いた株式会社建設技術研究所の永谷言氏に紙面を借りて御礼申し上げます。

表-3 参考手引き(案)作成にあたり指導・助言を頂いた学識者一覧

氏名(敬称略、順不同)	所属・役職
角 哲也	京都大学防災研究所 教授
中川 一	京都大学 名誉教授
藤田 裕一郎	岐阜大学 名誉教授
松尾 直規	中部大学 名誉教授
宮川 仁	国立研究開発法人土木研究所 水工研究グループ 主任研究員

## 参考文献

- 1) 小野雅人・北村永晴・奥秋芳一：排砂バイパストンネルの計画・設計手法の体系化に向けた計画・設計標準検討フローの検証，水源地環境技術研究所所報，一般財団法人水源地環境センター，pp.24～29，2019.11
- 2) 小野雅人・田淵典之・吉田成人：排砂バイパストンネルの計画・設計手法の体系化に向けた計画・設計標準検討フローの検証(続報)，水源地環境技術研究所所報，一般財団法人

水源地環境センター，pp.50～57，2020.11

- 3) (社)日本大ダム会議 土砂管理分科会：土砂管理分科会報告書 -貯水池の土砂動態と土砂制御工法-，大ダム No.212，2010.7
- 4) 櫻井寿之・柏井条介・大黒真希：ダム貯水池の堆砂形態，土木技術資料 45 (3)，pp.56～61，2003.3
- 5) 小野雅人・田淵典之・吉田成人：計画検討段階における排砂バイパストンネルの概算コスト，水源地環境技術研究所所報，一般財団法人水源地環境センター，pp.34～39，2021.11
- 6) 横森源治・園原一男・福本晃久：美和ダム再開発事業における分派堰及び洪水バイパストンネルの設計，ダム技術 No.187，pp.22～38，2002.4
- 7) 国土交通省 中部地方整備局 天竜川ダム統合管理事務所：第9回 小洪ダム土砂バイパストンネルモニタリング委員会説明資料，2021.3
- 8) International Commission on Large Dams：Sediment Bypassing and Transfer，ICOLD Bulletin 193，17.August.2021.