

鋼製砂防構造物に関する計画及び設計上の留意事項

嶋 文示*

1 鋼製砂防構造物技術検討の経緯

鋼製砂防構造物が開発された当時、構造及び材料として新しい技術であり、土石流についても研究段階であったことから、現場ではこれらを採用するための技術的判断ができない状況であった。そこで、当センターでは公益事業の一環として鋼製砂防構造物の技術検討を本省指導のもとで行ってきた。この技術検討の回答については開始（試行期間を含め）から20年近く経過しており、この期間に『鋼製砂防構造物設計便覧』の発刊も行われ、土石流の捕捉実績や鋼材の経年変化など、現地調査も行われてきた。そこで今後は、新規に開発された鋼製砂防構造物についてのみ技術検討を行う方針としている。

そこで、これまで実施してきた技術検討内容を整理し、特に多くの指摘事項として回答した内容について、今後担当者自身が計画及び設計時において活用できるよう技術的チェックポイントを取りまとめることとした。今後は、これらを活用して設計技術者自身でのチェックを望むものである。

2 透過型鋼製砂防堰堤について

2.1 概説

土砂災害防止のために設計される鋼製砂防構造物としては、図1のように透過型鋼製砂防堰堤と不透過型鋼製砂防堰堤がある。透過型鋼製砂防堰堤は鋼管を組み合わせた開口率の大きい構造となっており、土石流区間には透過型砂防堰堤として、掃流区間には流木捕捉工として設置されている。不透過型鋼製砂防堰堤には、鋼製壁間に現地

発生材を投入したダブルウォール及びセル構造、形鋼でフレームを組みその中に礫材を投入した鋼製枠堰堤がある。

不透過型砂防堰堤については、基本的には計画上の留意事項は不透過型コンクリート砂防堰堤と同じである。しかしながら、透過型鋼製砂防堰堤は、鋼材の特徴を利用して開口部を大きく設けることで、コンクリート構造物ではなし得なかった機能を発揮することができる反面、土石流の流下形態に応じた施設の位置や開口部の形状等、不透過型堰堤に比べて考慮しなければならない項目が多い。

つまり、透過型鋼製砂防堰堤は、対象とする流れ（例えば土石流）に対して、構造上安定しているかどうかのチェックは当然であるが、設置目的である下流への安全確保に対して、各構造物の特性を活かした機能が十分発揮できるかどうかのチェックも重

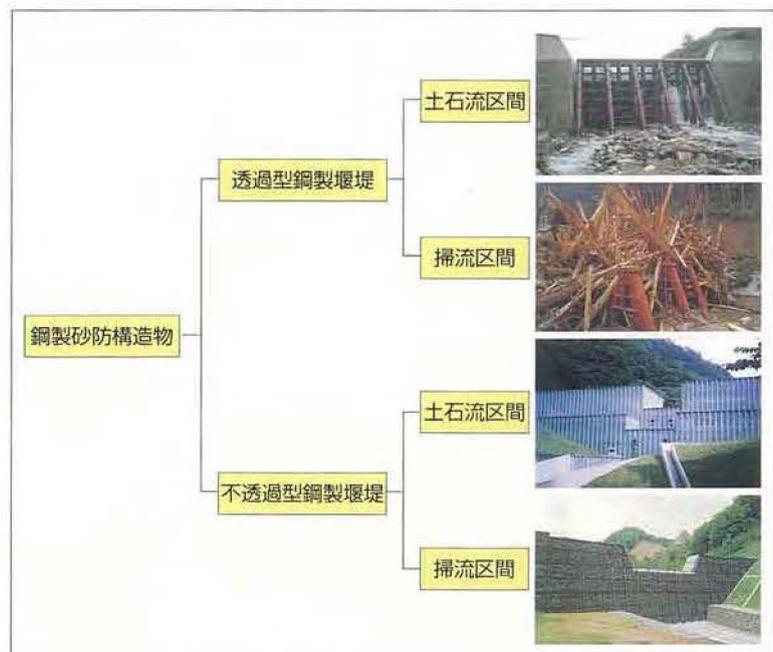


図1 鋼製砂防堰堤の分類

* (財)砂防・地すべり技術センター砂防部課長代理

要である。

そこで、透過型鋼製砂防堰堤を計画するにあたって、施設の機能を十分発揮させるための留意事項を取りまとめた。

一般に、溪床勾配によって土石流区間、掃流区間に大別され、1/20以上の土石流区間において透過型鋼製砂防堰堤が計画されている。しかし、土石流区間においても、図2に示すとおり、土石流の発生区間、流下区間、堆積区間と溪床勾配によって、その流下形態も変化する。そこで流下する土石流の種類が問題となる。透過型鋼製砂防堰堤は、巨礫を先頭部に伴った集合運搬で流下する土石流を捕捉することで、後続流をも捕捉する機能を有している（図3参照）。しかし、泥流型の土石流や土砂流のように巨礫が先頭部に集中しない場合には、期待されている機能が十分発揮できない可能性も考えられる。このため、一律に、透過型鋼製砂防堰堤のスリット間隔を最大礫径の1.5倍で設定してしまうと、捕捉機能を発揮しない場合が出てくる。

そこで、集合運搬で流下してくる条件を溪床勾配のみで決定するのではなく、地形・地質条件も踏ま

えて集合運搬から各個運搬に流下形態が移行するケースについても整理する必要がある。次項に地形、地質などを踏まえた土石流流下形態についての留意事項を示す。

集合運搬で到達しない場合の基本的な対策としては、『土石流対策技術指針（案）設計編』p.15の「さらに確実に捕捉しようとする場合は1.0倍程度とする」に準拠すると、確実に礫を捕捉するために部材間隔を礫径の1.0倍程度に設定することになるが、最も重要なことは堰堤に到達するであろう礫径をどのように設定するかである。したがって、礫径調査を確実にを行い、発生する土石流の規模と堰堤下流の保全対象の安全性に留意して礫径を設定する。そして、これを確実に捕捉できるように開口部の形状を縦材のみではなく、横材も組み合わせるなど工夫が必要となる。

2.2 地形条件からみた留意事項

(1) 土石流堆積区間に設置する場合

石礫型土石流が土石流流下区間から土石流堆積区間（図2参照）に移行するとき、土石流先頭部の巨礫群がほぐれて流下する可能性がある。特に、谷出口のような川幅が広くなるところでは水と土砂が分離しやすく、先頭部の巨礫が停止しやすい。また、土石流区間の中で堆積区間は下流域になるため流量が大きくなる傾向があり、よりほぐれやすい要因が加味される可能性がある。このような場合は、先頭部に巨礫群がない土砂流や各個運搬である掃流の状態で行下する場合となることが想

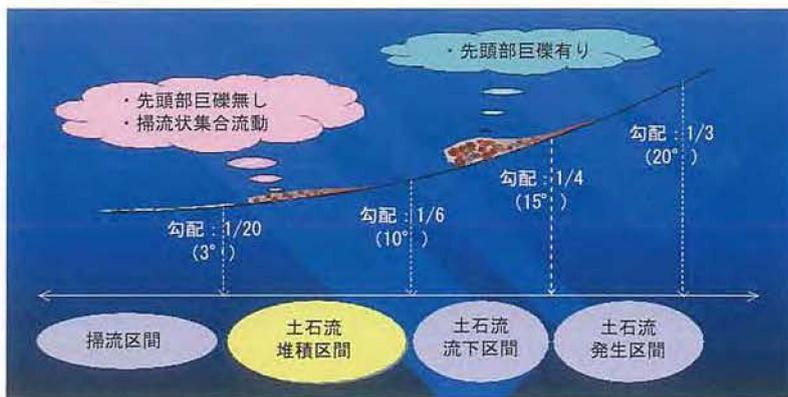


図2 勾配による土石流の流下形態



図3 土石流の捕捉事例

定される。このため、礫が確実に捕捉されるように、縦材間隔を礫径の1.0倍に設定するとともに横材を捕捉部材とする必要がある。

(2) 上流河道が湾曲している場合

堰堤の直上流が湾曲していると土石流が堰堤に到達する前に湾曲部でほぐれるため、集合運搬で到達しない場合が考えられる。透過型砂防堰堤は先頭部に巨礫群のある砂礫型土石流に対して機能を発揮するので、溪流蛇行部、支流合流点で土石流がほぐれやすい地形では、土石流形態で流下しない場合が想定されるため、透過型砂防堰堤の配置には注意が必要である。

(3) 川幅が広い河道に設置する場合

透過型砂防堰堤のスリット間隔は最大礫径の1.5倍以下で設定する（『土石流対策技術指針（案）』p.15）が、開口部幅の広い堰堤が土砂捕捉機能を発揮するには開口部全面（水通し幅）が巨礫によって閉塞されることが条件となり、一部でもオープンな部分があるとそこから後続流による土砂の流出がおこる可能性がある。したがって、開口幅全面を閉塞できるほど礫個数が溪床に存在するかどうかが礫径調査時に併せて確認する。土石流流下幅に対して川幅が十分広い場合には、縦スリット間隔を一律とせず複断面とするなど土石流が確実に開口部に到達するような工夫も考えられる（図4参照）。

2.3 火山砂防事業における留意事項

河道に火山堆積物が堆積していることが推測される場合は、泥流型土石流が発生する可能性が考えられる。砂礫型土石流の捕捉を目的として計画された透過型鋼製砂防堰堤は、スリット間隔を最大礫径の1.5倍に設定すると泥流型土石流では機能を発揮しないことが考えられる。したがって、泥流型土石流の現象を考慮してスリット間隔を礫径の1.0倍程度に狭めることが必要である。

また、火山地域における土石流区間の区分については『土石流対策技術指針（案）』に「火山地域で発生する土石流は緩勾配まで到達する傾向があるので、実態等に基づき判断するものとし、資料が不足している場合は溪床勾配 $I=2^\circ$ （概ね1/30）までとする」とある。これは礫が到達した溪床勾配であって、巨礫を先頭

部に伴った土石流とは考えにくく、ある上流地点で土石流がほぐれて小粒径のものが各個運搬で流下した痕跡とも考えられる。この場合は土石流堆積区間と同様に透過型鋼製砂防堰堤では捕捉することが困難なため、「2.2 地形条件からみた留意事項」と同様の対策が必要となる。

2.4 堰堤を連続配置した場合の留意事項

(1) 連続の定義

堰堤が一溪流に連続して設置されている場合で、一方の堰堤の土石流捕捉効果がもう一方の堰堤の土石流捕捉機能に影響を与える場合、これを連続配置と定義する。したがって、上下流の堰堤の効果が互いに影響しないほど十分離れている場合には、単独設置と考えてよい。また、上下流の堰堤の距離が近い場合でも、堰堤間に支川が合流しており、支川からの影響が大きい場合には、支川の影響は単独設置として考える。

(2) 透過型を連続配置する場合

上下流に連続して透過型砂防堰堤を計画する場合、下流の透過型堰堤の機能は、上流の透過型堰堤



図4 川幅が広い河道に設置する場合

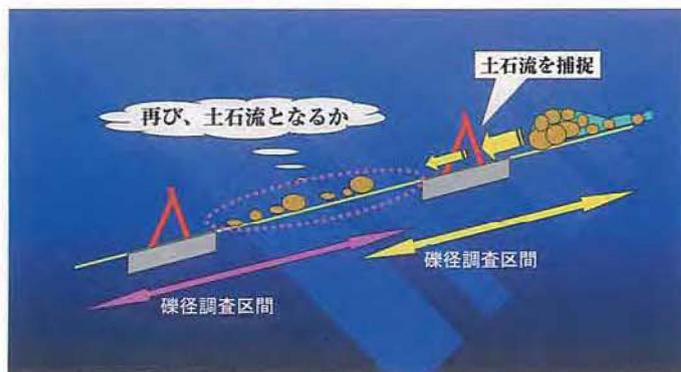


図5 透過型堰堤を連続配置した場合

の効き方に影響を受ける。このため、堰堤ごとに確実に到達するであろう礫径を対象礫径に設定する。このため、礫径調査は上流・下流堰堤別々で調査し、対象礫径を設定する必要がある（図5参照）。

特に、土石流が上流で捕捉された場合は流下する土石流が減勢されており、流下形態は土砂流（掃流状集合流動）もしくは掃流になり再び上下流堰堤間に点在する礫を巻き込んで砂礫型土石流になるかどうか検討する必要がある。スリット間隔については、礫径の1.0倍程度に設定し捕捉機能を高める。

(3) 上流を不透過型（既設）で

下流を透過型（新規）で配置する場合

上流に未満砂の不透過型砂防堰堤がある場合、土石流の先頭部は不透過型堰堤で捕捉され、これを乗り越えた流れが下流の透過型堰堤に到達することから礫を捕捉できないものと考えられる。また、上流の不透過堰堤が満砂している場合においても、不透過型堰堤に到達した土石流は堆砂域で土砂流に変化することが考えられるため、水通しから乗り越え下流の透過型堰堤に到達するときは集合状態で流下していないものと予想される（図6参照）。

このため、下流の透過型堰堤が機能するためには、上流の砂防堰堤から越流してくる流れが下流に到達するまでに河床の礫を巻き込み、再び土石流の先頭部を形成する必要がある。したがって、上下流の堰堤の距離、支川合流の状況、河床に存在する礫などから再度、土石流状態になるかどうかを判断することになる。

2.5 保全対象直上流に設置する場合の留意事項

(1) 最下流堰堤の定義

保全対象の上流に堰堤を計画する場合、土石流の

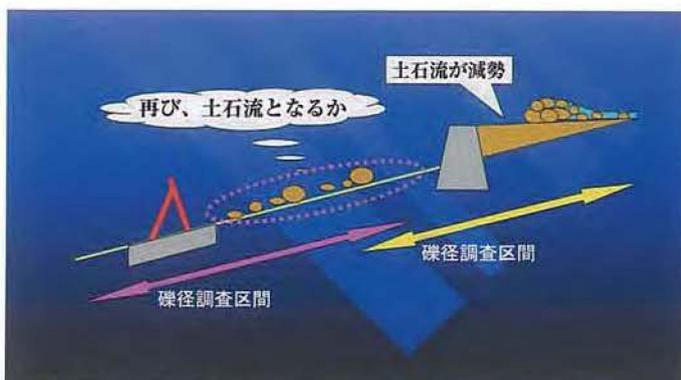


図6 上流を不透過型で下流を透過型で配置する場合

直撃による土砂災害から生命、財産、生活環境及び自然環境を守ることを目的として設定されるものを最下流堰堤と定義する。堰堤が保全対象から十分離れており、堰堤を乗り越え、あるいは通過した土石流が保全対象に直接影響しない場合には最下流堰堤として取り扱わない。

(2) スリット間隔の設定

『鋼製砂防構造物設計便覧（平成13年版）』「参考資料3 土石流危険渓流の最下流用透過型砂防ダム（p.101）」が現在オーソライズされているスリット間隔の設定であるが、これは、砂礫型土石流を対象に設定されたものであり、先に示した土石流の流下形態等を考慮すると機能を十分に発揮できない場合もある。

したがって、これまでの礫径調査から求めた最大礫径（D95）を対象にスリット間隔を設定した場合、土石流の先頭部が到達しないと礫が通過してしまう可能性がある。そこで、保全対象直上流に計画する最下流堰堤は、堰堤に到達するであろう礫径として河床材料調査の最大粒径（礫径調査のD80程度）を採用したり、スリット形状も縦材と横材を組み合わせるなど、土石流の流下形態や礫径の設定を十分吟味してスリット間隔にも工夫が必要である。

2.6 部分透過型砂防堰堤について

(1) 部分透過型の定義

部分透過型堰堤とは、溪床から数mコンクリートの不透過部が存在し、その上方に鋼製の透過部が存在するものをいう。部分透過型堰堤の不透過部は、不透過型堰堤と同様に土砂の調節効果を有している。

(2) 部分透過型の土石流捕捉機能

部分透過型堰堤に、砂礫型の土石流が到達すると不透過部で巨礫を含んだ先頭部が捕捉され、不透過部の上方に設けた鋼製透過部には巨礫を含まない後続流のみが到達する可能性がある。また、不透過部が満砂すると、上流の堆砂勾配が緩くなるため、土石流は堆砂域の勾配変化でほぐれることも考えられる。したがって、部分透過型砂防堰堤を土石流捕捉として利用する場合、以上のような現象を踏まえ検討する必要がある。

また、不透過部が満砂して堆砂勾配が掃流区間程度に緩くなった場合には、掃流状態で鋼製

透過部に土砂が到達することになる。このため、施設の効果量は掃流区間に設置した流木捕捉工と同じと考えられ、土砂量がカウントできるか検討を要する。ただし、部分透過型砂防堰堤を流木対策として計画する場合には、流木捕捉の機能を十分発揮する(図7参照)。

2.7 設計外力について

(1) 堰堤軸が河川流下方向に対して偏心している

堰堤の上流部が河川流下方向に対して偏心している場合は、偏心荷重についても検討する必要がある。

一般に、堰堤は下流に対して直角に設置することとするが、透過型堰堤の場合、土石流の捕捉を優先すれば、上流に対して直角にした方が捕捉の機能が明確である。このため、透過型堰堤を計画するときには、下流のみならず上流に対しても直角となるサイトを選定することが望ましい。

(2) 土石流発生区間での崩土及び落石の荷重

河床勾配が土石流発生区間であり、縦断形状から判断して落石や崩土が鋼製部に衝突する可能性がある場合は、鋼製部の部材の照査に際しては落石や崩土の荷重についてもチェックする必要がある。

(3) 雪崩のおそれのある場合の荷重

堰堤の計画箇所が豪雪地帯で、堰堤に雪崩が作用する可能性がある場合には、鋼製部の部材の照査に際して雪崩及び雪塊の衝撃力の荷重についてもチェックする必要がある。

2.8 その他の留意事項

(1) 堰堤上流の保全対象について

保全対象が堰堤の上下流にある場合には、堰堤で土石流および流木を捕捉した場合に河床が上昇し、溢水による被害も考えられるため、堰堤サイトを決定する時には下流の保全対象のみではなく上流側の保全対象についても留意する必要がある。

(2) 前庭保護工について

透過型砂防堰堤は、土石流を捕捉するまでは水通し部から常時流水や礫が越流することはない。土石流捕捉後は除石を行って機能回復をする必要があるため、水通し部からの越流については短期的なものとする。

よって、基礎地盤が砂礫地盤の場合は、透過型砂防堰堤の前庭保護工は常時流水の洗掘対策が中心となるため、不透過型砂防堰堤のように

堅牢なコンクリート製の前庭保護工ではなく、護床ブロック・寄せ石等の簡易な自然河道に近い前庭保護工でよい。

ただし、アクセスの関係等で除石を考慮せずに土石流捕捉後は不透過型砂防堰堤の機能のみとする計画であれば不透過型砂防堰堤に準拠する。

(3) 直下流域の溪流保全工について

堰堤下流にボックスカルバート等が道路を横断しているケースでは、ボックスカルバートを閉塞しない条件として土石流導流工を参考にすると、流下する礫の2倍以上、または3m以上の幅を設定する必要がある。しかし、流木が詰まると閉塞される可能性が考えられるため、堰堤下流へ流れる礫径や流木も考慮した計画とし、下流の安全性についても検討する。

(4) 魚道機能について

透過型砂防堰堤は上下流に河道が連続しているため、魚類等の水生動物が上下流を行き来することが可能である。ただし、底版コンクリートを全面斜路としていると、水深が確保できない場合がある。そこで、魚道機能として活用する場合は対象魚にもよるが、底版コンクリート上に自然石などを置き水深を確保したり、水みちの上流側が閉塞されることも予想されるので水みちを複数本形成するなど、魚道として機能できるよう工夫する。

3 不透過型鋼製砂防堰堤について

3.1 鋼製枠堰堤について

(1) 土石流区間に設置する場合の留意事項

『鋼製砂防構造物設計便覧(平成13年版)』では、「溪岸や溪床の侵食による土石流発生に対しては、砂防ダムや床固め工によってその発生防止を図るも

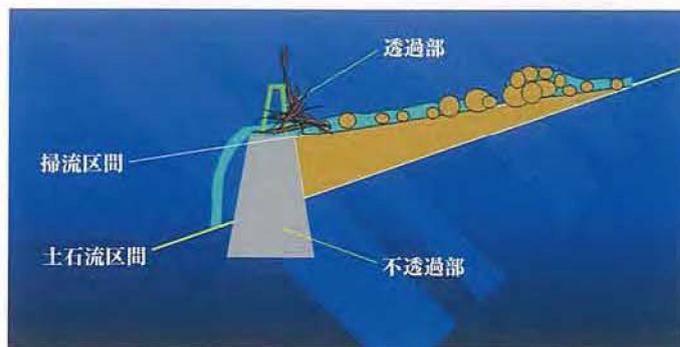


図7 部分透過型砂防堰堤を配置した場合

のとするが、土石流がより上流域で発生して流下する可能性もあり、設計条件として土石流の衝撃荷重を考慮するか、もしくは盛り土等の緩衝材によって衝撃を避けることが必要である」としている。

平成15年2月17日の事務連絡「枠構造の既設鋼製砂防堰堤補強・保護対策の実施について」において、既設の鋼製枠堰堤に対して緩衝材を設置するなどの対策の必要性が示された。これは、既設鋼製枠堰堤についての暫定的な対策であり、新規についての対策ではない。したがって、土石流区間に鋼製枠堰堤を使用する場合には、以下に留意する。

- ①現時点では鋼製枠堰堤自体で土石流の衝撃荷重に耐え得る構造としての設計がなされていない。このため、鋼製枠堰堤を待受け型の土石流対策として使用する場合には土石流に耐えることを検証するものとする。
- ②緩衝材に盛り土等で緩衝効果を期待する場合、土石流に対して緩衝材の効果を保証しなければならない。

なお、平成15年5月7日の事務連絡「透過型砂防堰堤の計画・設計上の注意点について」において、「土石流捕捉のための透過型砂防堰堤を設置する場合は、原則として鋼製スリット砂防堰堤とする」とあるが、これは鋼管製の透過型砂防堰堤のことであり、鋼製枠堰堤をスリット化したものではない。

(2) SS400材を採用する場合の留意事項

鋼製枠堰堤の使用鋼材にSS400の材質を使用している場合で、腐食が進んだ事例があった。腐食が著しく進行した原因を分析した結果、フェライト主体の材料でMnS（微細析出物）が高密度に含有されていたことがわかった。国内生産材料では、MnSの除去・精製が不十分な材料、またはフェライト主体の材料は考えられないため、輸入材料と推定される。

フェライト主体の組織となっている要因は、炭素含有量不足である。現在のJIS規格では、最も一般的な構造用材料であるSS材には炭素量の規定はない。しかし、ひとつ上のSM材では炭素量が規定されており、しかも国内産の場合SS材においてはSM材の基準をクリアしているといわれている。したがって、SS材であってもミルシートで炭素量を確認し、SM材での基準程度（0.15%以下～0.22以

下：強度により異なる）をクリアしていることを確認してから用いることが望ましい。どのような材料なのかを知る手がかりとして、炭素量を確認するだけでも十分効果的である。

3.2 ダブルウォール堰堤について

(1) 中詰め材にソイルセメントを用いる場合

ダブルウォールは中詰めせん断抵抗を得る必要があることから、必要断面が比較的大きくなる。また、中詰め用いる現地発生土の材料特性を十分に確認しておく必要がある。

しかし、中詰め材としてソイルセメントを利用する場合には、剛体と仮定できる程度に強度が得られれば、剛体として転倒及び滑動による安定性の検討が可能となるため、中詰め土砂よりも堤体断面を小さくできる。

(2) ダブルウォール構造とコンクリート構造を併用した場合

堤体内にコンクリート構造とダブルウォール構造を併用する場合、コンクリート構造とダブルウォール構造の自重差による地盤への載荷圧に差が出る。このため、不等沈下が発生した場合、自重の大きいコンクリート構造にダブルウォールが引っ張られダブルウォールが損傷する可能性がある。このため、不等沈下の影響を受けるかどうか検討しておく必要がある。軟弱地盤で不等沈下の可能性がある場合には、地盤を改良したり、コンクリート構造とダブルウォール構造を分離するなどの工夫が必要である。

(3) 海岸に近い場所に設置する場合

海岸線に近い場所に設置する場合、山間部に比べると鋼材の耐用年数は低下する（『鋼製砂防構造物設計便覧』p.103参照）。

腐食対策として亜鉛めっきを 550 g/m^2 を施す場合、一般的に亜鉛めっき（ 550 g/m^2 ）の海岸線における耐用年数は35年程度となり、残りを鋼材部分で受け持つことになる。上流側壁面材の水通し部以下は土砂が堆積する年数を考慮し、袖部については常時大気中に曝されるため、下流側壁面材と同様の腐食対策となる。また腐食しるを検討するにあたっては、現地周辺における鋼製構造物の腐食状況が参考となる。