

土石流対策用砂防えん堤の開発

嶋 文示*

はじめに

近年、環境保全や流砂系の総合的な土砂管理の必要性が高まる中で、土石流捕捉にも透過型砂防えん堤が多く採用されている。この土石流捕捉を目的とした透過型砂防えん堤は、土石流フロント部の巨礫群を捕捉することで透過部を閉塞させ、後続流に含まれる土砂をも捕捉する閉塞タイプを採用している。しかしながら、巨礫を含まないあるいはフロント部が形成されない、いわゆる土石流に対しては従来の閉塞タイプの透過型砂防えん堤では十分な土砂捕捉効果が発揮されない可能性がある。そこで、巨礫の有無に頼らない新しいタイプの透過型砂防えん堤を開発することとした。昨年度、この透過型えん堤の機能検証のために水理模型実験を行ったのでここに紹介する。

1 捕捉メカニズム

透過型砂防えん堤には、閉塞タイプとせき上げタイプがある。しかし、土石流の捕捉に対しては両者とも以下のような問題がある。

閉塞タイプの捕捉機能

閉塞タイプの砂防えん堤は、鋼管を縦横に組み合わせることで透過部を構成している。土石流の捕捉機能は縦材を主要部材としており、縦材純間隔は土石流を形成するであろう巨礫群で閉塞されるように最大礫径の1.5倍以下に設定している。横材純間隔は、後続流に含まれる礫を捕捉するように最大礫径の0.5～1.0程度に設定している。このタイプの設置箇所は、一般に溪床勾配1/20以上の土石流区間である（図1）。

しかしながら、谷出口では流下幅が拡幅したり、土石流堆積区間のように勾配が緩くなる場所、あ

るいはコンクリートスリットのように透過部の開口率が小さく、せき上げの発生しやすいところでは、土石流フロント部がほぐれ巨礫群がえん堤に到達しない可能性がある（図2）。つまり、閉塞タイプの透過型えん堤が土砂捕捉機能を発揮するためには、巨礫により透過部が閉塞される必要がある。

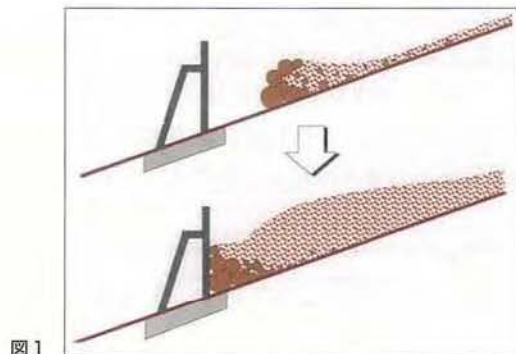


図1

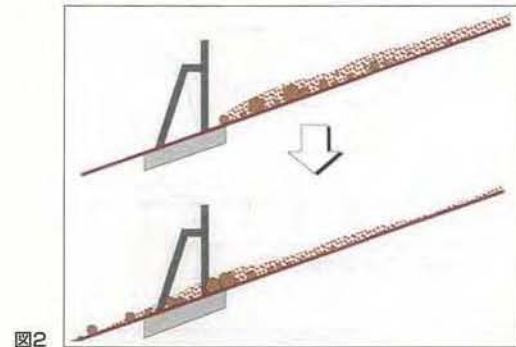


図2

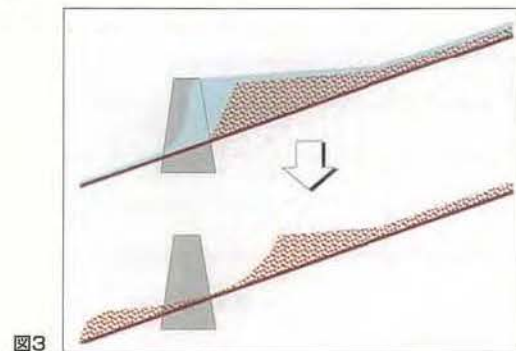


図3

* (財)砂防・地すべり技術センター砂防部課長代理

せき上げタイプの捕捉機能

せき上げタイプは、コンクリート砂防えん堤の越流部に縦スリットを設けたものである。このタイプはスリット開口率が小さいため洪水時に流水をせき上げ、えん堤上流に湛水域を形成する。ここに土砂が流入すると堆砂肩が形成される。土砂が供給され続けると堆砂肩が下流に進行し、堆砂肩がスリット部まで到達すると、堆砂肩近傍の土砂はスリットからの引き水とともに排出される。さらに、洪水後期にはスリット直上の堆砂肩が崩れてスリットから多量の土砂が吐き出され、スリット直下に堆積する(図3)。

土石流区間にせき上げタイプの砂防えん堤を設けた場合、先行流によりせき上げが生じると土石流フロント部が湛水域で停止する可能性がある。このときスリット部が巨礫で閉塞されず、後続流はスリット部から流下する。また、せき上げ効果を十分発揮して後続流の小径礫を捕捉できても、洪水末期にい

ったん貯留した土砂がスリット部から排出してしまう。

新しいタイプの捕捉機能

今回、考案した透過型砂防えん堤は、巨礫群が集中する砂礫型土石流も捕捉対象であるが、ここでは特に土石流堆積区間を念頭に、濃度が薄くなり掃流状集合流動化したいわゆる土砂流を捕捉対象とした(図4)。

新しいタイプの砂防えん堤は、図5に示すように本堤と副堤の両者を透過形式として構成される。本堤の透過形式は閉塞タイプとして越流部を河床まで開口し、ここに横材を配置する。河床から横材最下部との空間は土石流波高より小さく設定する。横材の純間隔は現地河床材料の90%粒径程度とする。副堤の透過形式はせき上げタイプとして縦スリットを設ける。この縦スリットの間隔は、常時及び頻度の高い中小出水で移動しうる土砂の最大粒径の3倍程度とする。副堤の天端高は、本堤横材最下部より高く設定する。

新しいタイプの捕捉機能は以下のように想定している。副堤に設けた縦スリットによって、せき上げを発生させ本副間に湛水域をつくる。土砂が流入してくると、従来のコンクリートスリットと同様に堆砂肩ができ、土砂の流入量に応じて堆砂肩が下流に進行する(図6a)。しかし、このまま、堆砂肩がスリット近傍まで達すると、土砂がスリットから排出されてしまう。そこで、スリットから引き水の影響を受けないように、上流の所定の距離で堆砂肩の進行を阻止する方法を考えた。堆砂肩が本堤まで達すると、本堤に設けた横材により河床と横材の間が閉塞される。このとき、堆砂肩の下流への進行が横材によって阻止される。本副間に距離があると、副堤スリットからの引き水や流水の副堤縦スリットへの衝突による攪拌の影響が本堤で停止した堆砂肩まで達せず、堆砂肩が崩されるこ

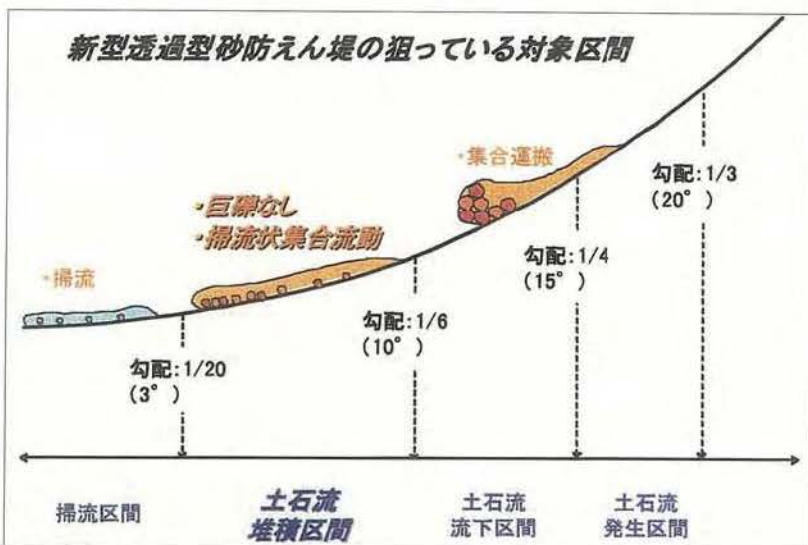


図4

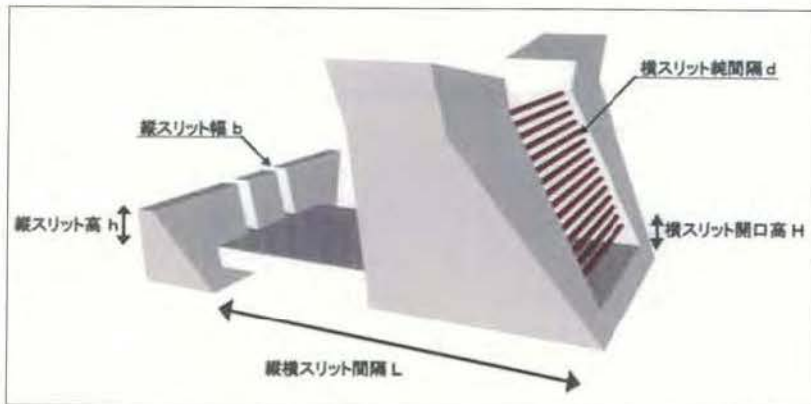


図5

とはない。堆砂肩の進行が本堤で停止すると、供給土砂は本堤横材に捕捉されて堆砂肩上方に堆積していく（図6b）。このとき、流水は横材の間から排出され、堆砂肩への水圧が軽減され底抜けを防止することができる。土砂が供給され続けると堆砂は本堤天端まで到達する。洪水末期になると、本副間の水位は低下するが、堆砂肩はそのまま維持されるため、捕捉した土砂の再移動はない。

2 実験概要

2.1 実験の目的

実験で対象とする砂防えん堤は、副堤縦スリットによるせき上げにより堆砂肩を形成させ、この堆砂肩が本堤横スリットに到達すると上流から到達する土砂を横スリットで捕捉することを想定している。そこで、本実験ではこの砂防えん堤で想定している以下の土砂捕捉過程を検証することを目的とした。

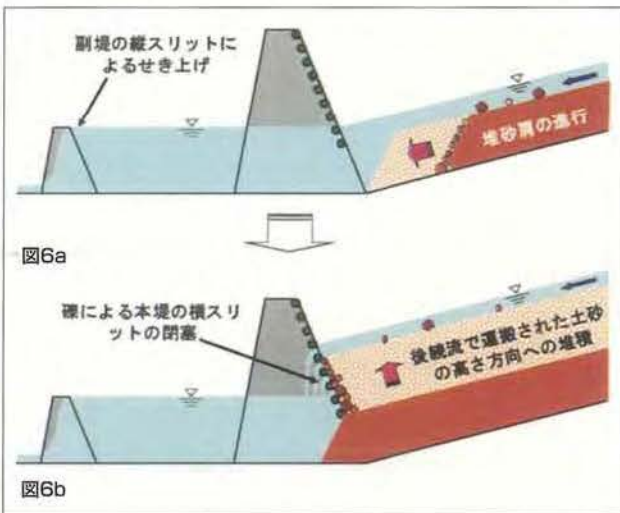


表1

CASE NO.	えん堤諸元			実験流量 (ℓ/sec)
	横スリット 純間隔	縦スリット高 (cm)	本副間距離 (cm)	
CASE00	0.9cm	副堤無し		3.5
CASE01		9.0	25	
CASE02			10	
CASE03		3.0	55	2.0
CASE04				3.5
CASE05				7.0
CASE06				2.0
CASE07				3.5
CASE08	7.0			

- (1) 縦スリット高によるせき上げと堆砂肩の形成
- (2) 横スリット最下部による堆砂肩の進行の阻止と横材による後続流の礫捕捉
- (3) 洪水末期の水位低下時における堆砂肩の形状維持

2.2 実験施設および実験条件

実験に用いた水路は、長さ10.0m、幅0.5m、高さ0.4m、勾配1/15の直線矩形水路である。幅0.3mを流下幅として水路下流端には砂防えん堤模型を設置した。実験砂は、平均粒径3.4mm、 $d_{90}=9.0\text{mm}$ の混合砂を用い流送能力見合いで供給した。実験流量は $Q=3.5\text{ L/sec}$ （現地スケール $35\text{m}^3/\text{s}$ ）の定流を基準とし、流況や水路下端における流出土砂量を流量別に比較するために $Q=2.0\text{ L/sec}$ （現地スケール $20\text{m}^3/\text{s}$ ）と $Q=7.0\text{ L/sec}$ （現地スケール $70\text{m}^3/\text{s}$ ）についても実験を行った。水路勾配は土石流や土砂流の堆積区間の河道を想定し1/15とした。給砂量は土石流捕捉のための透過型砂防えん堤における計画流出調節土砂量を供給し、土砂供給の方法は水路床に供給量を敷き均し流送能力見合いとした。

実験で用いた砂防えん堤の形状は、縦スリット高さ h は3.0cmと9.0cm、横スリット純間隔 d は0.9cm、本副間距離は10cm、25cm、55cmとした。一定条件として固定値にした諸元は、横スリット部材径 $\phi=0.9\text{cm}$ （実物換算値36cm）、横スリット開口高 $H=4.3\text{cm}$ （実物換算値1.7m）、縦スリット幅 $b=2.0\text{cm}$ を2門（実物換算値0.8m）とした。実験ケース一覧を表1に示す。

3 実験結果および考察

3.1 土砂捕捉機能の確認

実験における土砂の捕捉は、CASE01～05およびCASE07～08で高い土砂捕捉効果が得られた。土砂捕捉効果が確認できた各CASEは、縦スリットによりせき上げが発生し、横スリットの上流に堆砂肩が形成され、その後、堆砂肩が横スリットまで到達すると、後続流に含まれる土砂は横スリットに捕捉され堆砂が高さ方向に進行するという過程であった（図7）。CASE00とCASE06は土砂を捕捉しなかった。CASE00は副堤が無く、土砂流が本堤横材に引っかかることなくそのまま本堤を通過した。CASE06は流量が少なく、せき上げ高が低いため横

材開口高Hに達せず、堆砂肩の進行が横材によって阻止されなかった。このため、堆砂肩が副堤縦スリットに到達し、スリットから土砂が排出された。CASE06と同じ流量であるCASE03は、縦スリット高が高いため、せき上げ水深が横材開口部Hより高くなるように設定している。このため堆砂肩が横材に引っかかり、堆砂肩の進行が停止し、その後の土砂は本堤横材で捕捉した。このことから、以下のようなことが考えられる。

3.2 せき上げ水深と横材開口高の関係

本実験では、縦スリット幅と横スリット開口高を固定しているため、横スリット開口高とせき上げ水位の関係は縦スリット高と流量で設定した。CASE01～05とCASE07～08では、各流量時において堆砂肩が横スリット開口部より高く形成され、CASE06では堆砂肩が横スリット開口高よりも低く形成された。この結果、堆砂肩が横スリット開口高よりも高く形成された場合には、後続流に含まれる土砂が横スリットに捕捉され、堆砂が高さ方向に進行し土砂の捕捉効果が高かった。しかし、堆砂肩が

横スリット開口高まで達しない場合は、後続流に含まれる土砂は横スリットに捕捉されず下流へ流出するため土砂の捕捉効果が低かった。よって土砂捕捉効果を高くするためには、せき上げ水深を堆砂肩の高さが横スリット最下部の開口高よりも高くなるように設定する必要があると考えられる。

3.3 本副間の土砂捕捉向上機能

横スリットから流出した細粒土砂は、せき上げが生じているため本副間に堆積する。しかし、横スリット上流部での堆砂が進行し横スリット上流の堆砂面が高くなると横スリットから落下流が発生し、縦横スリット間の堆積土砂を巻き上げる。CASE01やCASE02では巻き上げられた土砂が落下水の流れに沿って下流へ流出する。これに対して、CASE04では縦横スリット間隔が長いため、巻き上げられた土砂が下流側で再び堆積する。これは、落下流がこの区間で減勢されたものと考えられる。よって、縦横スリット間に堆積した土砂の下流への流出を軽減するためには、縦横スリット間隔Lを現行基準の本副間距離程度にとり、落下流を減勢させる必要があると考えられる。

4 まとめ

本実験の条件の範囲内において、確認できた現象は以下のものであった。

- (1) せき上げ高が横材最下部より高いと堆砂肩の下流への進行は阻止され、減水期にも堆砂肩は維持される。せき上げ高が横材最下部より低いと堆砂肩は副堤スリット直上まで進行し、減水期に堆砂肩が崩れる。したがって、土砂捕捉機能を実際にするためには、せき上げ水深が横スリット開口高Hより高くなるように配慮する必要がある。
- (2) 横材純間隔を河床材料の90%粒径程度に設定しておけば、後続の礫の大半を捕捉できた。
- (3) 横材の間から抜けた細粒土砂は本副間で再び堆積するが、同時に横材の間からの落下水により攪拌されると副堤スリットから抜ける。ただし、本副間の距離を長くすると落下水が減勢され、細粒土砂の流下は軽減できる。

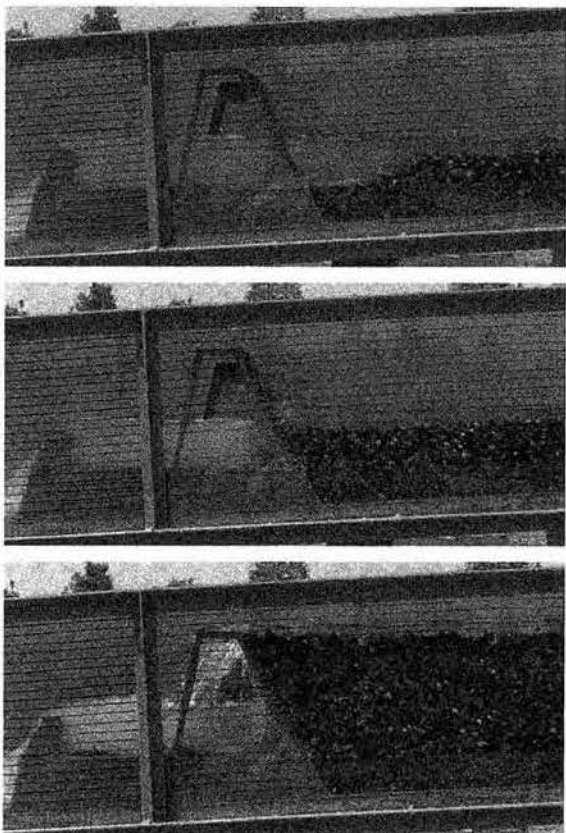


図7

おわりに

今回の実験から、新しいタイプの透過型砂防えん堤は、巨礫を含まずとも礫を捕捉できることを確認できた。また、今回提案した形状は、副堤縦スリットのせき上げ水位と本堤横スリット開口高の調節により土砂の流出や捕捉をコントロールすることがで

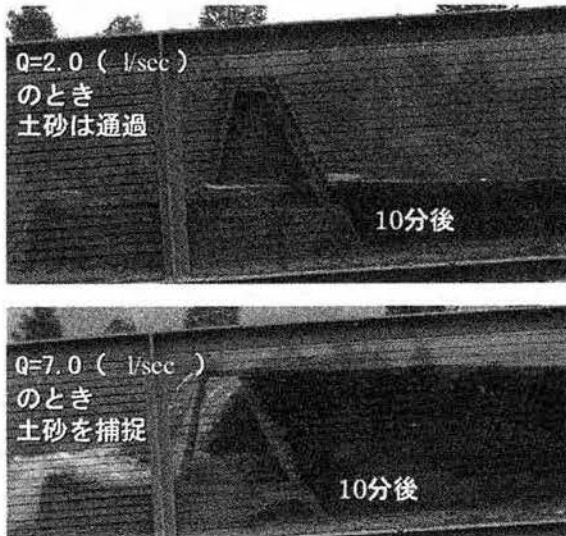


図8

きる。図8は、流量以外の条件を同じにしたときの土砂捕捉状況の違いである。Q = 2.0 l / secは中小出水をイメージしており流量が小さいときは下流へ土砂をそのまま流す。Q = 7.0 l / secは洪水時をイメージしており、土石流が発生した場合に土砂を確実に捕捉する。つまり、流量をもとに土砂の捕捉および流下を設定でき、平常時や頻度の高い中小出水により移動するであろう無害な土砂は流下させることができるため、土砂災害を防止する役割をはたすとともに、生態系への配慮など環境面で有効的な工法となりうる。また、せき上げ水位を高くすることで横スリットの開口部を広く設けることができるため、平常時に流木やごみなどによって閉塞する可能性が低くなり維持管理面においても効果が高いものであると考えられる。

今回、想定した現象を確認することを目的としたため定常流で実験を行った。しかし、実現象としてのハイドロ流量や土砂濃度、本副間距離（現行基準との整合）など、実構造物への適用のための検討が必要である。このため、上記課題を念頭においた実験を、引き続き行う予定である。