

# 透過型砂防堰堤の設置位置・形状に着目した最適解探査

PLANNING EFFECTIVE OPEN TYPE SABO DAMS FOCUS ON SHAPE AND INSTALLATION POSITION

中谷 加奈<sup>1</sup>・里深 好文<sup>2</sup>・水山 高久<sup>3</sup>

Kana NAKATANI, Yoshifumi SATOFUKA and Takahisa MIZUYAMA

<sup>1</sup> 京都大学大学院農学研究科（〒606-8502 京都市左京区北白川追分町）

E-mail: kana2151@kais.kyoto-u.ac.jp

<sup>2</sup> 立命館大学理工学部（〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1）

E-mail: satofuka@se.ritsumei.ac.jp

<sup>3</sup> 京都大学大学院農学研究科（〒606-8502 京都市左京区北白川追分町）

E-mail: mizuyama@kais.kyoto-u.ac.jp

**Key Words:** sabo dam, open type, debris flow, numerical simulation, KANAKO

## 1. はじめに

土石流による被害の防止・軽減には、砂防堰堤などの砂防構造物の設置が有効である。効果的な砂防堰堤を設置するには、堰堤の種類・設置位置・高さなどの最適解を求める必要があり、検討には数値シミュレーションが有効である。筆者らはこれまで汎用土石流シミュレータ Kanako<sup>1)</sup>を開発してきた。Kanako は、入出力部に GUI を実装したことで情報の視覚化が図られ、直感的な操作・理解が可能となる。また、計算モデルを統合・改良することで異なる種類・形状の砂防堰堤を設置した条件の土石流シミュレーション等を一つのシステム上で簡単に扱える。

本研究では、透過型砂防堰堤の最適な設置位置・形状について、汎用土石流シミュレータ Kanako を活用して検証した。

## 2. 検討対象

-2006 年に宮島白糸川で発生した土石流災害 -

不透過型砂防堰堤の検討と同様に、2005 年 9 月 6

日広島県宮島<sup>2)</sup>で発生した土石流を対象として Kanako (Ver. 1.44) を用いてシミュレーションを行った (図-1)。地形条件は国土地理院が公開している電子国土データを元に作成し、川幅は一律で 15m と設定した。

なお、検討対象はあくまでも一事例としてその地形、土砂量を引用しているだけであり、災害の再現を目的とするものではなく、土石流計算に必要なパラメータには一般値を採用している。

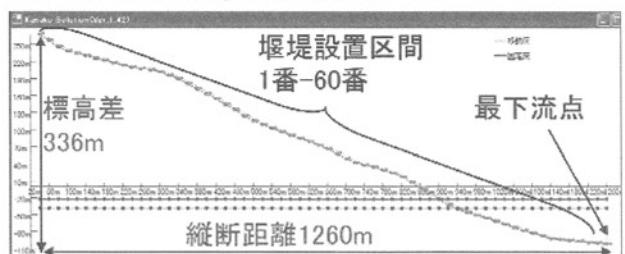


図-1 堰堤の設置区間と Kanako で示される宮島の縦断図

### (1) 計算条件

透過型砂防堰堤の設定条件は表-1 の通りで、比較のため無施設の場合についても検討した。

表-1 堤防の設置条件。

種類	透過型砂防堤防（形状は三種類）
基数	1基
設置位置	最上流点（1番点）から対象地点の2点上（60番点）まで実施
高さ	基礎からの高さ12mで一定

砂防堤防の設置位置を対象地点の2点上までとしたのは、対象地点の直上点に堤防を設置すると、計算上不具合が生じる場合があり、それを避けるためである。堤防の高さは、同じ対象地で不透過型砂防堤防の設置位置・高さに着目した検討<sup>3)</sup>で得られた最適解を採用した。

計算に用いたパラメータは計算時間(s)=1200、計算の時間間隔(s)=0.01、大粒径(m)=1.0、小粒径(m)=0.1、砂礫の密度(kg/m<sup>3</sup>)=2650、流体相密度(kg/m<sup>3</sup>)=1180、河床の容積濃度=0.60、重力加速度(m/s<sup>2</sup>)=9.8、侵食速度係数=0.0007、堆積速度係数=0.05、マニングの粗度係数(s/m<sup>1/3</sup>)=0.03、計算点間隔(m)=20、計算点個数=62である。

透過型堤防が機能するのは、一般的に部材間隔が最大礫径の1.5倍程度までと言われており、小さな粒子は閉塞に関与しない。そのため、大小様々なサイズの粒子で構成される土石流を、閉塞に寄与する大きなサイズと、そのまま通過すると小さいサイズの2つのグループに分ける必要がある。本検討では、透過型堤防の閉塞に寄与するものを大粒径、閉塞に寄与せずそのまま流出するものを小粒径として設定した。

災害報告<sup>3)</sup>から崩壊土砂量は約18,000 m<sup>3</sup>（空隙込）と見積もられ、これを元に<sup>4), 5)</sup>供給ハイドログラフを設定した。土石流が河道を侵食した土砂量は約13,000 m<sup>3</sup>（空隙込）と推定されており、これらは初期河床材料として河道上に均等に一律0.7m厚で与えた。

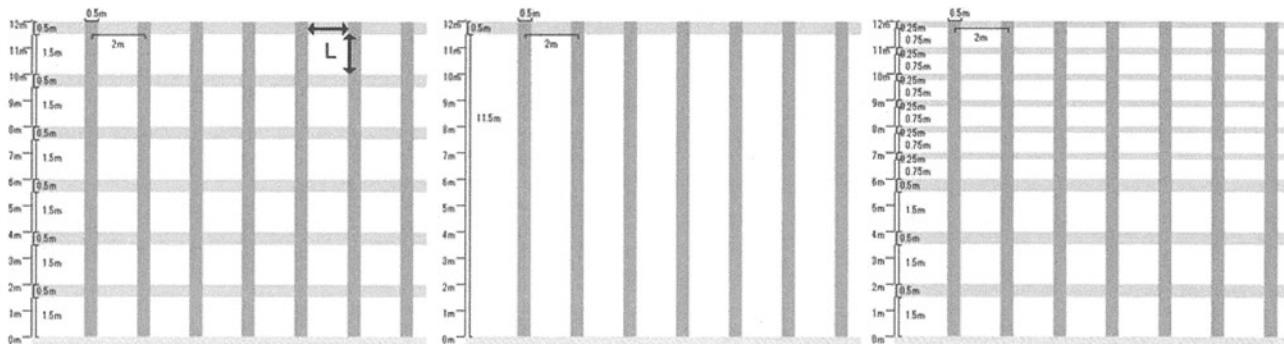


図-3 検討に用いた三種類の透過型砂防堤防の形状（左からNormal, Vertical, Mesh）

供給ハイドログラフは図-2の様に、最初の200秒間でピーク流量360m<sup>3</sup>/sの三角形ピークを設定して、200秒後から計算終了時刻まで10m<sup>3</sup>/sの後続流を与えた。総土砂濃度は30%として、粒径の構成比を変えて検討を実施した。大粒径20%で小粒径が10%のケースと、大粒径10%で小粒径20%のケースである。

初期河床材料を設定するケースでは、大粒径と小粒径の河床における存在比はそれぞれ50%とした。

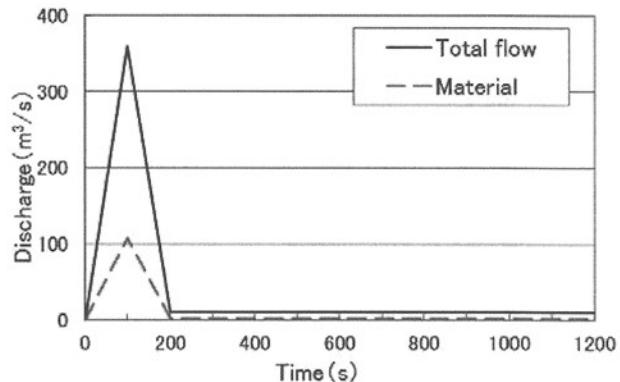


図-2 計算で用いた供給ハイドログラフ

## (2) 被害軽減対象・指標

最適解を導出するには、具体的な被害軽減の対象地点や基準設定<sup>6), 7)</sup>が重要となる。

被害軽減の対象地点は、一次元計算領域の最下流点とした。最下流点は谷出口となっていて、人家などの居住エリアの起点と考えられるためである。

被害軽減指標には、最大河床位と初期河床位との差に川幅を乗じた最大堆積土砂量ならびに総流出土砂量を採用し、これらの値が小さいほど効果的な堤防であるとした。

最大堆積土砂量Zは次の式で算出した。

$$Z = (z_{Max} - z_{init}) \times B \times dx \times C_*$$

ここに、 $z_{Max}$ :最大河床位、 $z_{init}$ :初期河床位、B:川幅、dx:計算点間隔、C\*:河床の容積濃度である。

### (3) 検討ケース

透過型砂防堰堤の形状として、図-3に示す三種類 (Normal、Vertical、Mesh) を検討した。

Normal は縦部材と横部材の格子間隔が等しいジヤングルジム様、Vertical は縦部材のみを設置した形状である。Mesh は構造物の下半分は Normal と同じ、上半分は Normal よりも格子間隔を半分に狭め、含まれる土砂や巨礫が少なくなる後続流においても透過型堰堤が効果的に機能することを目的とした形状<sup>8)</sup>である。

大粒径直角 D と格子間隔 L の比 (L/D) は、L/D が 1.0 から大きくなるほど閉塞率が下がるが 1.5 では比較的よく閉塞するという既往研究<sup>9),10)</sup>や、L/D 1.0 から 1.5 までが基準値とされた土石流・流木対策設計技術指針<sup>11)</sup>を元に、L/D 1.0 と 1.5 の場合を検討した。図-3 は、L/D1.5 の場合の堰堤形状を示す。

初期河床材料の有無も比較した。実際の渓流で、河床上に土砂が存在しないことは考えにくいが、アーマーコート形成や床固工の設置によって、侵食が極力起こりにくく状況があることは十分考えられるためである。表-2 の 24 ケースについて、最下流点での最大堆積土砂量並びに総流出土砂量を比較した。

### 3. 検討結果

堰堤の設置位置や形状を変更した 24 ケースの最下流点での最大堆積土砂量の結果を図-4 に、総流出土砂量を図-5 に示す。図中の凡例は、N は Normal 型、V は Vertical 型、M は Mesh 型の形状を表しており、L/D は格子間隔 (L、図-3 の Normal 型参照) と大粒径の粒径 (D) 比を示す。例えば「N:L/D1.5」は、Normal 型で L/D が 1.5 の透過型堰堤を表している。各グラフでは、横軸に砂防堰堤設置点番号を記し、これらの点間隔は 20m である。縦軸には、各ケースでの砂防堰堤設置位置や形状を変更した場合の、最下流点における最大堆積土砂量 (図-4)、総流出土砂量 (図-5) をプロットしている。

無施設の結果は、グラフ上に壊線で示す。図-4 最下段には計算領域の地形条件 (標高と初期河床勾配) を示しており、結果を示すグラフ横軸の砂防堰堤設置点番号と、地形条件の横軸の上流端からの距離は、それぞれ対応している。

堰堤無しの初期条件の違いによる計算結果 (図-4、図-5 の破線) からは、次のことが判る。同じ土砂濃度の供給ハイドログラフを与えて、初期河床材料の有無によって、また構成粒径比の違いで、下流端

表-2 検討ケース

Case	1-N	1-V	1-M	2-N	2-V	2-M
堰堤の種類	Normal	Vertical	Mesh	Normal	Vertical	Mesh
格子間隔 L/大粒径 D	1.0			1.5		
初期堆積厚 (m)	0			0		
土砂濃度	大粒径 20%、小粒径 10%			大粒径 20%、小粒径 10%		
Case	3-N	3-V	3-M	4-N	4-V	4-M
堰堤の種類	Normal	Vertical	Mesh	Normal	Vertical	Mesh
格子間隔 L/大粒径 D	1.0			1.5		
初期堆積厚 (m)	0.7			0.7		
土砂濃度	大粒径 20%、小粒径 10%			大粒径 20%、小粒径 10%		
Case	5-N	5-V	5-M	6-N	6-V	6-M
堰堤の種類	Normal	Vertical	Mesh	Normal	Vertical	Mesh
格子間隔 L/大粒径 D	1.0			1.5		
初期堆積厚 (m)	0			0		
土砂濃度	大粒径 10%、小粒径 20%			大粒径 10%、小粒径 20%		
Case	7-N	7-V	7-M	8-N	8-V	8-M
堰堤の種類	Normal	Vertical	Mesh	Normal	Vertical	Mesh
格子間隔 L/大粒径 D	1.0			1.5		
初期堆積厚 (m)	0.7			0.7		
土砂濃度	大粒径 10%、小粒径 20%			大粒径 10%、小粒径 20%		

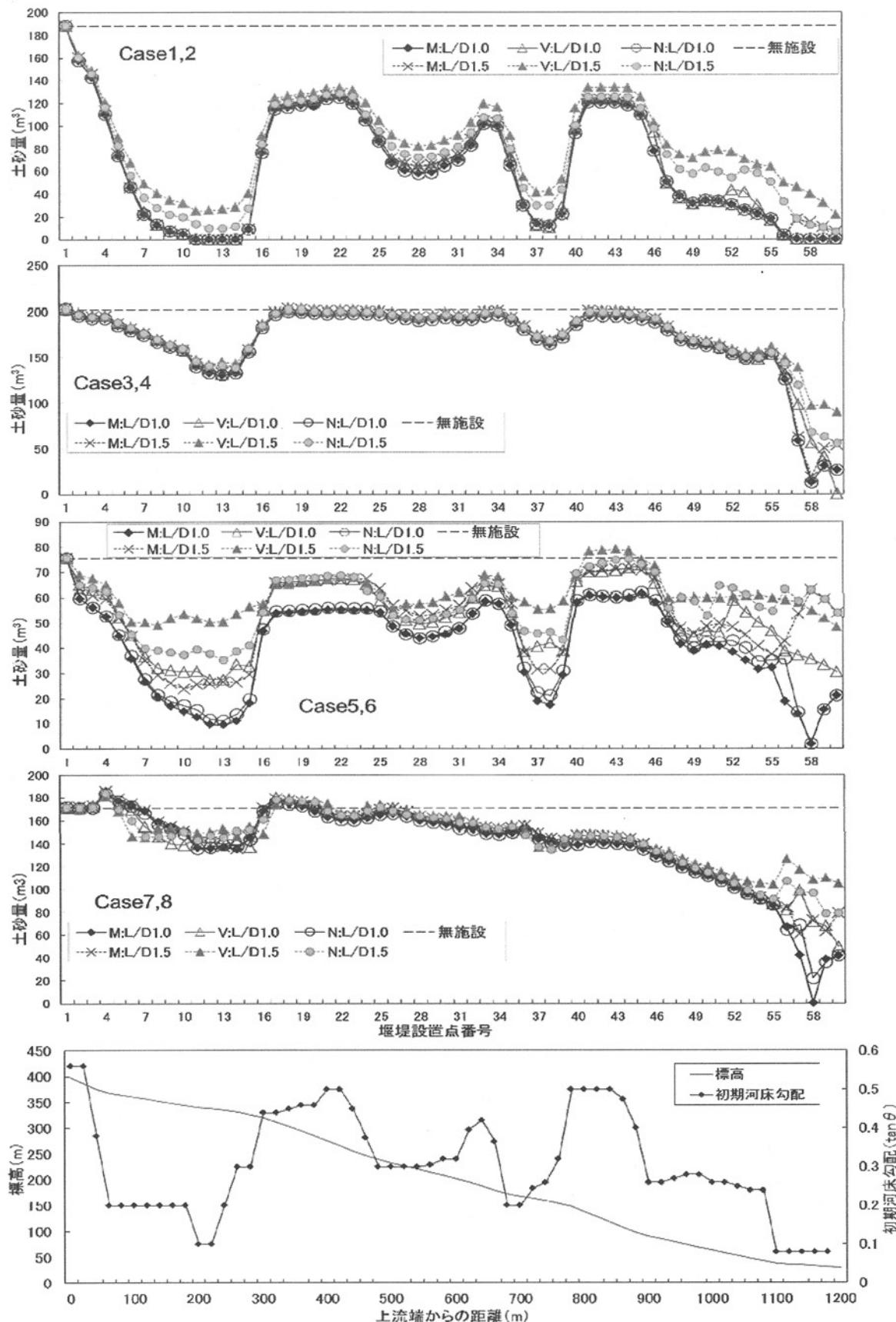


図-4 透過型砂防堰堤の設置点・形状を変更した最下流点での最大堆積土砂量

(最下段のグラフは標高と初期河床勾配を示し、上4段の砂防堰堤設置点番号と最下段の上流端からの距離は対応)

での最大堆積土砂量、流出土砂量は異なる。初期河床材料は有る方が、最大堆積土砂量や流出土砂量は大きい。構成粒径比は、小粒径が多くて平均粒径が小さい方が、最大堆積土砂量や流出土砂量は大きい。

### (1) 最大堆積土砂量

最大堆積土砂量は初期河床材料の無い Case1、2、5、6において、結果が河床勾配に対応した結果となつた。これは、急勾配よりも緩勾配の地点に設置した方が、堰堤上流側の捕捉可能な土砂の容量が大きいことによる。初期河床材料の無いこれらのケースでは、急勾配地に堰堤を設置した場合には、最大堆積土砂量は堰堤無しの場合とそれほど変わらない。

一方で、緩勾配で勾配変化の少ない領域に設置した場合には、対象地点の直上以外の領域においても、最大堆積土砂量は減少して効果的であることが 6-16 番や 37-40 番点の結果から読み取れる。また、このような効果的な領域においては、L/D は 1.0 の方が、形状は Mesh、Normal、Vertical の順で最大堆積土砂量を減少させる。

初期河床材料の有る Case3、4、7、8 では、最大堆積土砂量は 55 番点より下流に設置する場合以外は、堰堤形状による効果の違いはあまり見られなかった。また、最下流点の直上に堰堤を設置した場合に、最大堆積土砂量が小さくなり、安全側である。

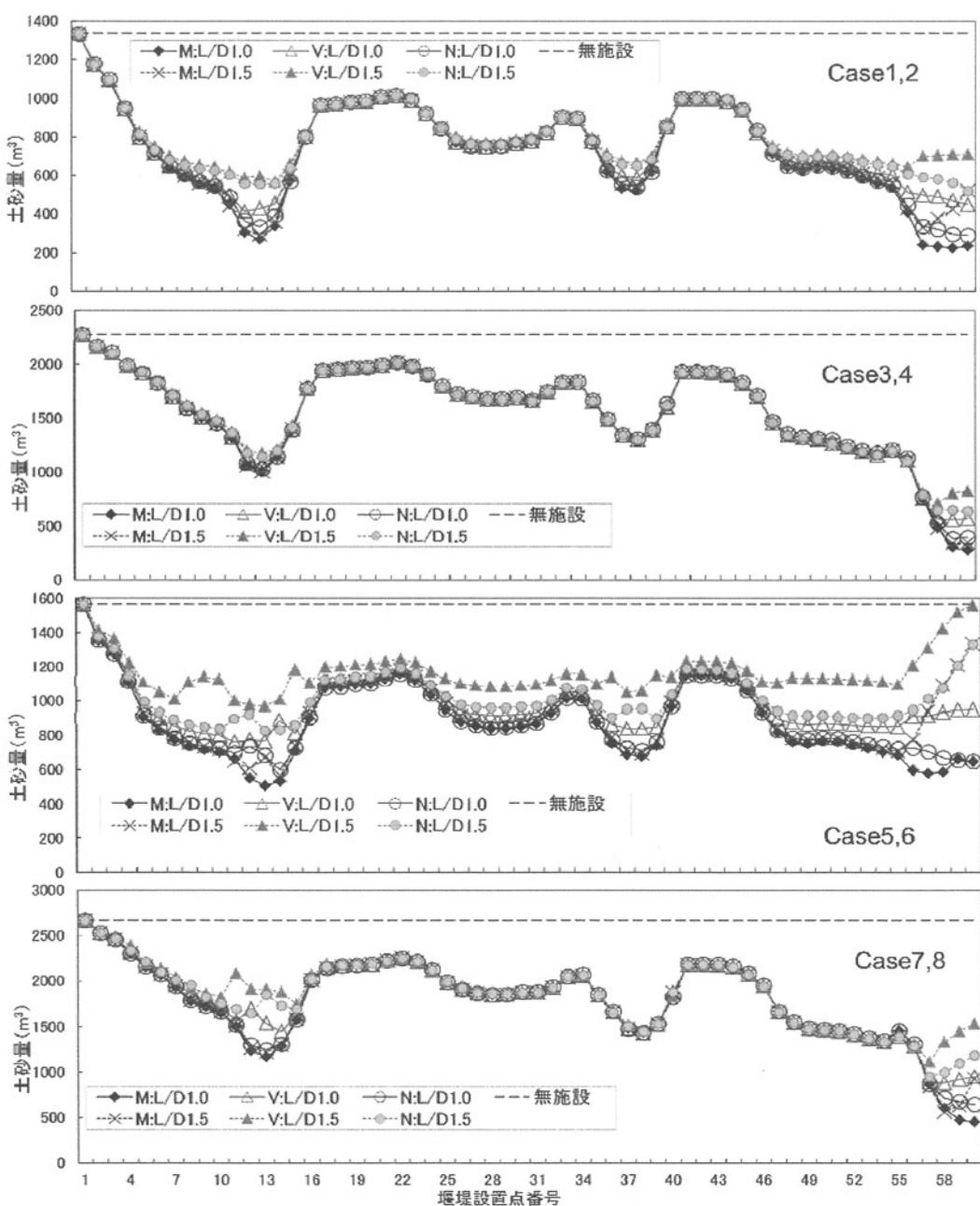


図-5 透過型砂防堰堤の設置点・形状を変更した最下流点での流出土砂量

形状は Mesh で  $L/D=1.0$ 、次いで Normal で  $L/D=1.0$  の堰堤の場合に、最大堆積土砂量は小さくなる。

一方で、最下流点の直上付近以外の 55 番点より上流側では、堰堤形状や設置位置による違いはそれほど大きくない。また、初期河床材料が存在するため、あまり上流側に堰堤を設置しても再侵食によって下流へ土砂が流下する。堰堤無しのケースと比較すると、1-55 番点に設置すると平均して 12%程度の減少に留まる。被害軽減対象の最下流点の直上（56-60 番点）に設置すると平均して約 59%の土砂量が減少して、効果的である。

## (2) 流出土砂量

流出土砂量は全 Case について、結果が河床勾配に対応した結果となった。流出土砂量は最大堆積土砂での結果ほど、堰堤形状による違いは見られない。最大堆積土砂量の結果と同様、堰堤の設置位置による影響が大きい。しかし、初期河床材料が無く小粒径の多い Case5、6 や他のケースでも緩勾配で勾配変化が少ない 6-16 番点や 37-40 番点、下流の 55 番点より下流側では、Mesh の  $L/D=1.0$  が最も流出土砂量を減少させて効果的であり、次いで Normal の  $L/D=1.0$ 、Mesh の  $L/D=1.5$  が比較的効果が大きい。次いで Vertical の  $L/D=1.0$ 、Normal の  $L/D=1.5$ 、Vertical の  $L/D=1.5$  の順である。小粒径の多い Case5-8 では、特に初期河床材料の無い Case5、6 では 55 番より下流に堰堤を設置しても、 $L/D=1.5$  の形状は、特に Vertical や Normal 型では流出土砂量を減少させる効果が少ない。対象地点の直上に置くよりも少し上に置く方が効果的である。

初期河床材料が無く小粒径の割合が多い Case5、6 での下流端からの流出土砂量は、特に Vertical の  $L/D=1.5$  では、堰堤無しの場合と比較して堰堤の捕捉効果が小さい。Normal で  $L/D=1.5$ 、Vertical の  $L/D=1.0$  のときも同様である。初期河床を設定した Case7、8 では、河床から取り混んだ大粒径によって閉塞が起きて流出土砂量を減少させる効果が増える。全体的には、Case1 から Case4 の大粒径が多い条件の方が、無施設と比較したときに堰堤が流出土砂量を減少させる効果が大きい。

## 4. おわりに

本検討では、透過型砂防堰堤の最適な設置位置と形状について、汎用土石流シミュレータ Kanako を活用して検証した。設置位置は、河床に初期河床材料が存在しない場合には、堰堤の効果は河床勾配と対

応する結果となった。初期河床材料が存在する場合、上流側に堰堤を設置すると、堰堤の下流で再侵食による土砂移動が発生するため、下流への土砂流出を防ぐ効果は少ない。設置位置は、勾配が緩く河床変化の小さい領域に設置するのが有効である。初期河床材料が有る場合は、前述の条件に加えて被害軽減対象地点の直上に置くのが効果的である。

格子間隔と大粒径の比 ( $L/D$ ) は、初期河床材料の有無に関わらず、 $L/D$  は 1.0 の方が 1.5 よりも効果的である。透過型堰堤の形状は Mesh が最も効果的で、次いで Normal、Vertical の順である。最も効果的なのは Mesh、 $L/D=1.0$  であり、一番効果が少ないので Vertical、 $L/D=1.5$  で、部材はより密に入っているものが有効であることが確認された。

## 参考文献

- 1) 中谷加奈・里深好文・水山高久：GUI を実装した土石流一次元シミュレータ開発、砂防学会誌、Vol. 60, No. 2, pp. 41-46, 2008.
- 2) 海堀正博・浦真・吉村正徳・藤本英治：2005 年 9 月 6 日に広島県宮島で発生した土石流災害、砂防学会誌、Vol. 58, No. 5, pp. 18-21, 2006.
- 3) 中谷加奈・里深好文・水山高久：砂防堰堤の最適解（位置と高さ）の探査ツール開発—Kanako を活用して—、砂防学会誌、Vol. 63, No. 3, pp. 43-49, 2010.
- 4) 国土交通省：砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編），2007.
- 5) 高橋保・中川一：豪雨時に発生する石礫型土石流の予測、砂防学会誌、Vol. 44, No. 3, pp. 12-19, 1991.
- 6) 赤沼隼一・小山内信智・安田勇次・嶋 大尚：平成 11 年 9 月 15 日重信川流域土砂災害における砂防施設効果、砂防学会誌、Vol. 55, No. 2, pp. 43-51, 2002.
- 7) 井戸清雄・佐藤一幸・水山高久：数値実験による砂防施設効果評価システムに関する研究、砂防学会誌、Vol. 52, No. 4, pp. 26-32, 1999.
- 8) 水野秀明・水山高久：上部の格子間隔が狭い格子型ダムに関する研究、砂防学会誌、Vol. 49, No. 4, pp. 3-8, 1996.
- 9) 水野秀明・仲野公章：透過型砂防堰堤に関する計画・設計手法について、土木技術資料 43-5, pp. 10-11, 2001.
- 10) 水山高久・小橋澄治・水野秀明：格子型ダムのピーク流砂量減少率に関する研究、砂防学会誌、Vol. 47, No. 5, pp. 8-13, 1997.
- 11) 国土交通省：土石流・流木対策設計技術指針、2007.

（2012. 5. 9 受付）