

土砂移動形態に着目した格子型ハイダムの土砂コントロール機能に関する実験的研究

国土交通省 関東地方整備局 富士川砂防事務所 堀内成郎, 赤沼隼一
日本工営株式会社 ○小川和彦, 伊藤隆郭, 池永均, 森田威孝, 倉岡千郎, 杉山実
京都大学大学院 農学研究科 水山高久

1. 緒言: 透過型砂防えん堤の土砂捕捉に関する研究は, 水路実験や数値解析によって数多く行われており, 例えば, 格子えん堤に限ってみても, 格子の形状, 格子間隔, 土石流の土砂濃度などに着目した実験的な検討が幾つも行われている¹⁾⁷⁾. 例えば, 格子えん堤の最小格子間隔が d_{95} の約 1.5 倍よりも大きくなると, 格子による土砂捕捉能力が小さくなることが明らかにされており, この知見をもとにして, 土石流・流木対策の指針解説⁸⁾ においては, 最小格子間隔の目安が d_{95} の 1.0 倍とされている. しかしながら, 河床状態の違い, 河床勾配, 土石流の流動形態, 土石流本体の体積濃度, 粒度分布および格子に捕捉される巨礫成分と格子との関係などの土石流の特性や流れに対する外力の影響については, 検討すべき課題が残されているように思われる. 今般, 富士川水系早川支川の雨畑川流域を対象として, 格子型ハイダムによる土砂捕捉機能について, 屋内水路実験および屋外地形模型実験を実施している. ここでは, 土石流の流動形態(土砂移動形態)に着目して実施した屋内水路実験の実験結果を報告する. なお, ハイダム形式の格子型砂防えん堤を「格子型ハイダム」と略称し, えん堤捕捉において対象とする土石流は, 泥流⁹⁾などの乱流状態の流れではなく, 砂礫粒子が層流の流れである.

2. 水路実験: 使用する水路は, 図 1 に示すように, 長さ 20 m, 幅 30 cm (模型縮尺 $\lambda_L=1/50$ に従って設定) の透明アクリル製の固定床の矩形断面開水路であり, 水路下流端より 2 m の位置に格子えん堤を設置している. 下流端から 12m まで区間の河床勾配は 4.2° ($1/13.5$), 12~18m の区間の河床勾配は 16° ($1/3.5$) である.

上流端から給水することによって土石流を流下させ, えん堤の上下流域における流れの特性値を計測する方法で実験を実施している. 水路下流端では, えん堤通過の流量, 流砂量および粒度分布の測定を行うと共に, 総流出土砂量も計測している. 一方, えん堤上流域においては, 土石流の流下速度, 堆砂形状を測定している. また, ビデオカメラを用いて, えん堤近傍と水路全体(平面・側面)の流況を撮影している.

土砂移動形態は, 次の 3 つを想定した. 「(1) 飽和土塊(高さ 61.8~128.7cm)が流水により一気に流下する流れ(天然ダム決壊型, Type NL: 使用水路は水路 B で, 水路 A の下流から 2.0~7.5m の区間は移動床)」, 「(2) 等流の土石流 (Type U: 使用水路は水路 A)」, 「(3) 高濃度のフロント部をもつが後続流は等流の土石流 (Type QS: 使用水路は水路 A で, 上流端に設置した深さ 10.0cm・長さ 300cm の土砂を侵食させて先端部を作る)」.

(2)と(3)の実験においては, 清流が所定の抵抗になるように, 河床に棧粗度を設置し, 水路 A の上流端から連続給砂を行っている. さらに, えん堤設置位置での流砂・流量のピークの違いが比較できるように, えん堤の有無によるピーク値も計測している. いずれの実験においても, 給砂量は同じであるが, (1)の実験では, 水路中に堆積す

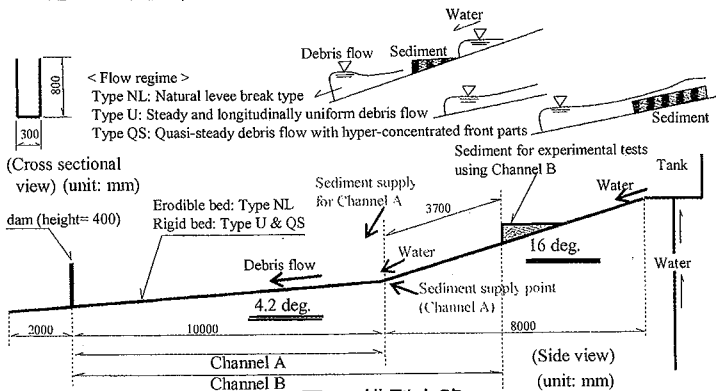


図 1 模型水路

表 1 水理条件の一例 (Type U, QS・模型スケール)

n	B (cm)	Q (l/s)	c_f	c	h_0 (cm)	h_0/d	τ_b	Fr
0.0261	30.0	9.05	0.02	0.06	3.00	5.91	0.262	1.85

ここに, n : 粗度係数[m-s 系], B : 川幅, Q : 清水流量, c_f : 輸送濃度, c : 断面平均濃度, h_0 : 清水等流水深, h_0/d : 相対水深, τ_b : 無次元掃流力, Fr : フルード数であり, 粒径には d_m を用いている.

表 2 実験結果の一例 (土砂量はみかけ量で表示)

Case	Flow regime	部材間隔比 (水平) L_v/d_{95} (鉛直) L_h/d_{95}	給砂量 V_s (L)	c (c_f) ¹⁰⁾	えん堤通過土砂量 (L)	土砂捕捉率	先端部流速 (m/s)	備考
5	NL	$L_v 1.0 \times L_h 1.0$	870	0.3	84.8	0.891	4.64	*Channel B *えん堤越流土砂量: 95.4 (L)
6	NL	$L_v 1.0 \times L_h 1.25$	870	0.3	79.5	0.893	4.20	*Channel B *えん堤越流土砂量: 133 (L)
7	NL	$L_v 1.0 \times L_h 1.5$	870	0.3	90.1	0.886	5.01	*Channel B *えん堤越流土砂量: 74.2 (L)
8	NL	$L_v 1.5 \times L_h 1.5$	870	0.3	201	0.737	5.01	*Channel B *えん堤越流土砂量: 106 (L)
11	NL	$L_v 1.5 \times L_h 1.5$	200 200 200	0.3	26.5 10.6 5.30	0.868 0.947 0.972	2.62 2.04 1.90	*Channel B *3 surges (図 2 に未掲載)
12	NL	$L_v 1.0 \times L_h 1.5$	200 200 200	0.3	26.5 15.9 10.6	0.868 0.921 0.947	2.11 2.06 1.88	*Channel B *最下段のみ $L_v/d_{95}=1.5$ *3rd surge を掲載 (図 2)
16	U	$L_v 1.0 \times L_h 1.0$	200 200 200	0.0735 (0.025)	24.8 13.6 10.4	0.876 0.932 0.948	0.550 ~0.589	*Channel A *最下段のみ $L_v/d_{95}=1.5$ *河床位測定用に 3 surge に分割 (400sec./1surge)
17	QS	$L_v 1.0 \times L_h 1.0$	200 200 200	0.0735~0.137 (0.025~0.075)	9.6 8.8 8.0	0.952 0.956 0.960	0.729 ~0.833	*1st, 3rd surge 記載 (図 2)

・Flow regime: 「NL」は天然ダム決壊タイプ, 「U」は等流土砂流, 「QS」は擬似定常土石流(フロント部あり)を表す.
・タイプ「NL」でのえん堤なしのフロント部(平均的な値): $c_f=0.108$, $h=12.5$ cm (給砂量 600~870 L のケース)
・格子の形状の表記: 水平部材間隔 L_v と d_{95} の比 $\times$ 鉛直部材間隔 L_h と d_{95} の比として表す. (例) $L_v 1.0 \times L_h 1.5$ = 水平部材間隔と d_{95} の比が 1.0 で鉛直部材間隔と d_{95} の比が 1.5 の格子.

る土砂量を考慮し、えん堤位置を通過する土砂量が所定量になるように、若干土砂量を増加させている。

実験条件の一部を表 1 および後述の表 2 に示す。土砂の材料特性は次のようである。土砂の比重:2.64, 静止堆積濃度:0.634, 平均粒径 d_m :5.08 mm (d_{max} :53 mm, d_{95} :36mm)。なお、1/50 の模型での現地材料の平均粒径 d_m は 5.16 mm (d_{max} =80 mm, d_{95} =36 mm)であり、粒度分布は、後述の図 2 に「Initial」として示している。また、実験におけるえん堤の格子設定においては、後述の表 2 に示すように、水平部材間隔 L_v と鉛直部材間隔 L_h を幾つか組み合わせている。

3. えん堤による土砂捕捉: 表 2 は、実験結果の一部であり、図 2 は、えん堤通過土砂の粒度分布である。同図には、 d_{60} 以上の土砂成分を拡大した図も掲載し、Type U, QS においては、通水初期(1 surge 後)と通水終了時点のもの、Type NL のものは、通水終了時点のものを掲載している。いずれのケースにおいても、格子により巨礫成分が捕捉され、えん堤通過土砂は概ね細粒化している。ただし、Type U, QS では、通水後の粒度分布はほぼ同じであるが、通水初期(1 surge 後)において違いが見られる。これは、Type QS の先端部がえん堤に到達する際に、格子間で巨礫成分が停滞したためである。

実験の規模によっては、流量・流砂量のピーク値の測定が困難な場合 (Type NL) がある。そこで、透過型えん堤の種類・形状の流出土砂量に及ぼす影響は小さく^{3), 4)}、勾配をパラメータとして整理されることを指摘した知見⁴⁾を参考にして、えん堤からの流出土砂量に着目した整理を行う。図 3 は、格子の最小スケール比 L_{min}/d_{95} とえん堤からの流出土砂の流出率 (=流出土砂量/給砂量) の関係である。同図には、比較のために、透過型えん堤 (鉛直部材のみ、水平部材のみ、正方格子、千鳥格子) を用いた実験データ^{4), 7)}を河床勾配ごとに掲載している。これによると、過去の指摘⁴⁾のように、流出土砂量は、若干、河床勾配の影響を受けているがその影響は小さい。同図によると、 L_{min}/d_{95} が 3~1.5 の範囲で土砂の流出率は急激に減少し、1.5~0.5 の範囲で、流出率がほぼ 0.05 で一定の傾向があるようである。さらに、本研究でのデータについてみると、Type NL の流れは、土砂流出率が大きい側の包絡線上にあり、Type U および Type QS の流れは、流出率が小さい側の包絡線上で、かつ、流出率がほぼ一定の領域の下限値付近にあるように見える。これは、土石流の流動形態の違いが現れているものと推察され、興味深い結果である。

図 4 はピーク流砂量の減少率の関係⁵⁾と本実験データを比較したものである。同図には、Type U および Type QS の結果を載せており、輸送濃度と平均濃度の変換は、文献 10) の知見を用いて行っている。Type U においては、ピーク減少率の傾向は計算値と類似しているようにも見える。一方、Type QS においては、流砂量のピークが 90% 以上抑制されており、図中の傾向と大きく異なる。これは、同図のような平面で整理する際に、想定される土石流のタイプ別に整理し、さらに、新たに必要となるパラメータを再抽出する必要性を示唆している。

4. 結語: 土石流の移動形態に着目して、格子えん堤による土砂捕捉機能について実験データを用いて検討した。えん堤からの流出土砂量の流出比に着目すると、えん堤の種類によらず、勾配をパラメータとして、土砂捕捉機能を説明でき得ることを示した。なお、ハイダム上方部の流出土砂抑制対策の一例や屋外地形模型の結果は、発表時に示す。

謝辞: 本実験にあたり、日本工営 (株) 吉原幸仁氏およびスタッフの皆様方には、実験の実施およびデータ整理において協力頂いた。記して謝意を表す。

参考文献 1) 芦田ら: 京大防災研年報, 23B-2, 433-441, 1980, 2) 池谷ら: 新砂防, 114, 37-44, 1980, 3) 渡辺ら: 土木技術資料 22-2, 8-14, 1980, 4) 芦田ら: 京大防災研年報, 30B-2, 441-456, 1987, 5) 水山ら: 新砂防, Vol.47, No.5, 8-13, 1995, 6) 中村ら: 砂防学会誌, Vol.58, No.4, 30-34, 2005, 7) 高原ら: 砂防学会誌, Vol.60, No.4, 55-60, 2007, 8) 国総研砂防研究室: 土石流・流木対策設計技術指針解説, 国総研資料, 365, 73p., 2007, 9) 水野ら: 砂防学会誌, Vol.53, No.6, 45-54, 2001, 10) 江頭ら: 水工学論文集, 41, 789-794, 1997。

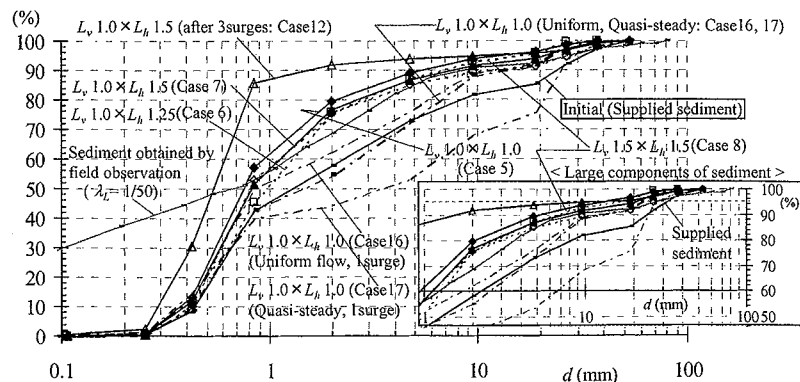


図 2 えん堤通過土砂の粒度分布

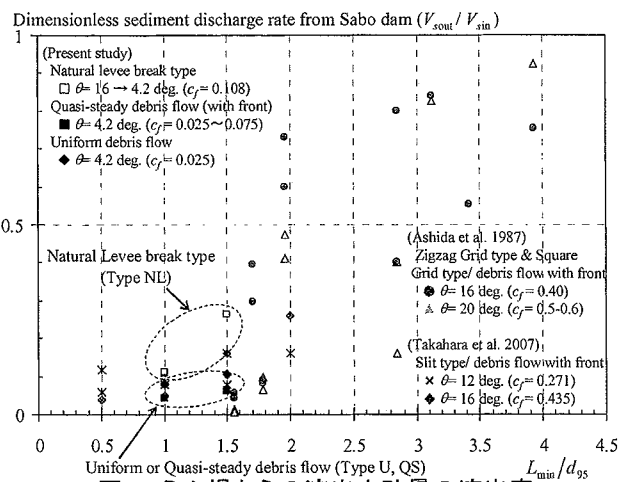


図 3 えん堤からの流出土砂量の流出率

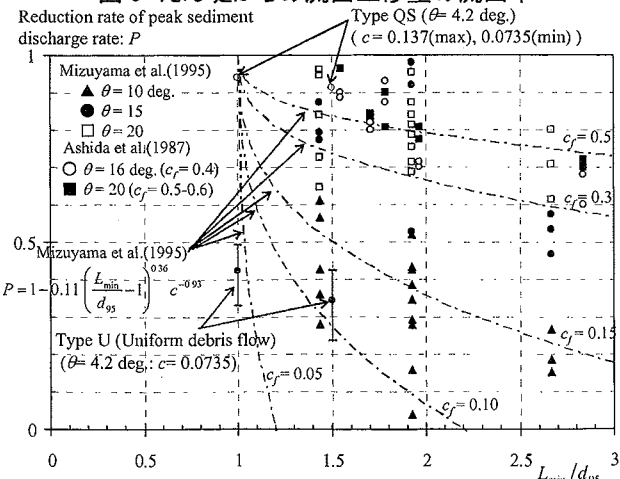


図 4 ピーク流砂量の減少率