

スリットを有する砂防ダムに関する実験的研究 Experimental Study of a Sabo Dam with a Slit

建設省土木研究所 正員 水山高久
建設省土木研究所 下東久巳
八千代エンジニアリング 正員 下田義文
八千代エンジニアリング 正員 井戸清雄

1. はじめに

砂防ダムの構造は、我国では重力式の不透過型のマスコンクリート製が一般的である。これに対し、土砂調節効果の増加を意図して大きな暗渠を有する砂防ダムやスリット（溝型の開口部）を有する砂防ダムが建設されたことがあった。¹⁾ しかし建設後の追跡調査が十分でなく十分その機能や問題点が確認されたことは無かった。問題点の一つは流木や砂礫によってスリットや暗渠が一時的に閉塞し、木が腐る等により偶然土砂が噴出する事で、実際にそのような事例があり、またその恐れがあるために開口部が閉鎖されてしまった例もある。最近、砂防を上流からの流出土砂を減らすだけでなく、より積極的に土砂を管理する、すなわち無害な土砂を積極的に下流に流し、有害な多量の土砂流出にのみ対応することが検討され始めている。²⁾ このような時に、土砂の流出頻度の低い地域において、砂防ダムの水抜き暗渠が流木等で閉塞し、水が腐敗して悪臭を発するという問題を解決するために大きな暗渠またはスリットをコンクリート製砂防ダムに設け、流木がひっかからないようにする事が提案された。この種のスリットまたは暗渠を有する砂防ダムは同時に平時の下流に害を与えないような土砂は流出させ、多量の土砂流出時にこれを捕捉する透過型砂防ダムとしての効果が期待される反面、前述の土砂噴出事故の危険性がある。そこでスリットを有する砂防ダムの流木のひっかかり方、土砂の堆積・流出過程、土砂の噴出状況について模型実験によって検討した。とくに土砂の調節効果については河床変動計算による説明も行った。

2. 実験に用いた砂防ダム模型の諸元

実際に計画されている砂防ダムの1/20の模型を製作した。図-1がその正面図で高さ約8.5mで、(a)は縦に長いスリットでダム天端は継がっている。(b)は深さ6.5mでスリットが天端まで達している。(b)の形についてはスリット幅1.5mに加え2.0mおよび1.0mについても実験を行った。砂防ダムには直径1mの通常の水抜き暗渠も2個ついている。図-1のダム模型を長さ20m、幅1.5mの可変勾配水路内に設置した。水路勾配は現地の河床勾配である1/13.3とした。河床材料も現地の粒度分布を1/20に縮小した図-2のような最大粒径20mm、平均粒径8.3mmの混合砂礫である。スリットの礫による閉塞条件は、

$$b/d_{\max} < 2.0$$

であるので、^{2), 3), 4)}

本スリットは礫のみで閉塞することはない。ここでb：スリットの幅、 $d_{\max}$ ：

最大粒径である。

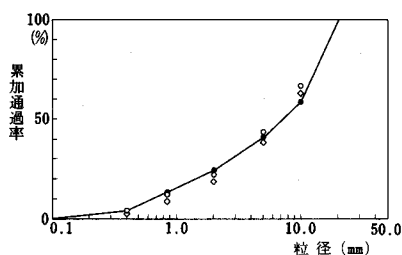


図-2 実験に使用した河床材料

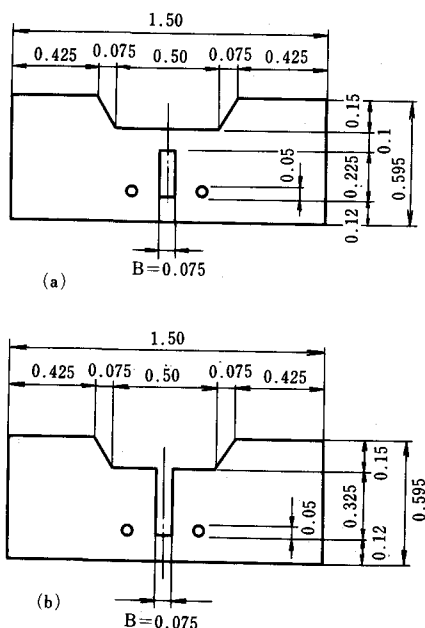


図-1 砂防ダム模型の正面図 (単位m)

3. 流木によるスリットの閉塞

長さ 15cm および 30cm, 直径 0.6cm および 1.0cm の木を 60 本ずつ計 240 本準備し, 1 本ずつまたは 10 本まとめて投入しスリット部にひっかかる様子を観察した。スリット幅(b)を 3 種類変化させ, 流木の長さ(ℓ)とスリット幅の比(ℓ/b)に対して, 流木がスリットにひっかかる率を示すと図-3 のようになる。流木はスリットに近づくとき長軸方向を流向と平行に変える傾向があるので, 意外にひっかかりにくい。ただし, 流量が大きくて水通し天端を越流する場合は流木は完全に浮いているので全くひっかからない。また 1 本がひっかかると後に続く流木は全てひっかってしまう。実際の流木は比重がほとんど 1.0 またはそれ以上の場合もあり, 根や枝が付いてスリットにひっかかる様子はさらに複雑と考えられるが, この実験では十分には検討できなかった。

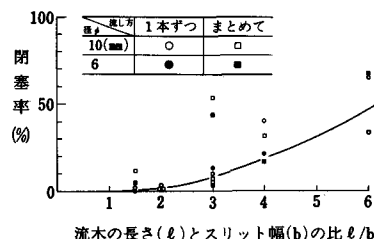


図-3 流木のスリットにひっかかる率

4. 土砂の堆積過程

スリットのある砂防ダムでは図-4 に示すようにせき上げられた水位に応じて堆砂が進行する。堆砂面の勾配は河床勾配の約 1/2 の 1/30 程度で, 堆砂がダム位置に達すると土砂の流出が始まり, スリット近傍の堆砂面勾配は斜面に平行な浸透水のある長大斜面の安定勾配に近い 26° 程度にまで急になって安定する。

5. 土砂の流出過程

先に述べたように偶然流木等によってスリットが閉塞してダムが満砂した後, 偶然土砂が噴出して事故になることはこの種のダムにおいて注意しなければならないことの一つである。そこで開口部を板で強制的に塞いでダムを満砂させた後, 板を取り去って, 土砂の流出状況を観察した。図-5 は同じ流量 (11 ℓ/S) でスリットの形状を変化させた時のダム上流の河床変動の状況を示している。板を取り去った直後はまずスリ

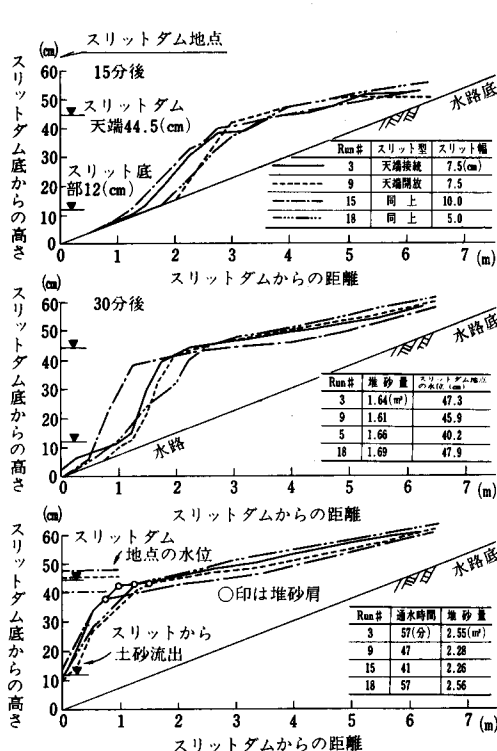


図-4 堆砂過程 (流量: 29 ℓ/S)

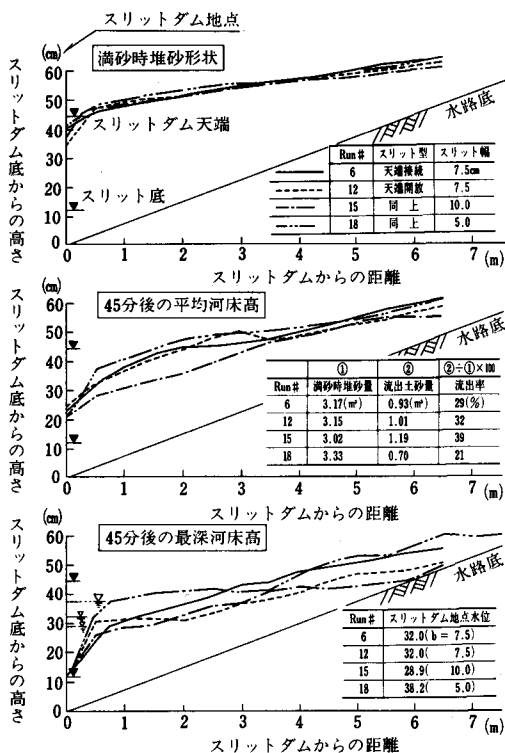


図-5 排砂過程 (流量: 11 ℓ/S)

ット近傍で地すべりが発生し多量の土砂が短時間に流出する。地すべりは同心円的に広がって 26° 程度にまで緩くなった後、侵食が上流に伝播してゆく。この時、流量が小さいと水路幅全体には侵食されずある河幅をとる。この河幅はレジーム則による河幅⁵⁾ とほぼ一致している。

流出土砂量の時間的変化は図-6 に示すとおりでピーク時には土砂濃度は25%程度にまで達するものもある。同じ流量でスリット幅を変化させると、最初の45分間に流出する土砂量はスリット幅が広がるほど大きくなる。(図-7) これはスリット幅が広いほどせき上げ水位が低くなるためである。(図-8) また当然のことながら、スリット幅が広いほど初期流出土砂量は大きくなっている。(図-9) 天端を接続したスリットのピーク流出土砂量が多いのはせき上げ水位の大きいためと考えている。ここで、図-8 の流出率は、排砂前の満砂した堆砂量に対する最初の45分間に流出した土砂量の比で定義した。

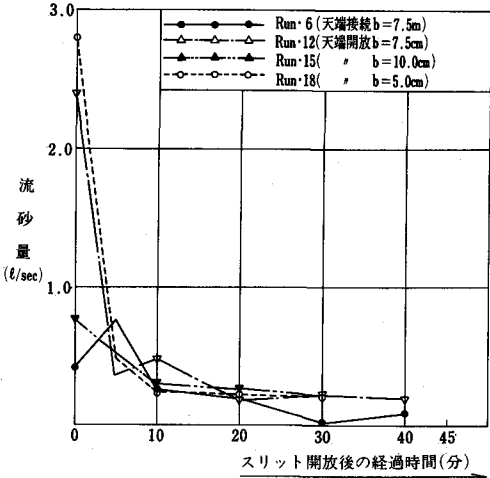


図-6 流出土砂の時間的変化 (流量: 11 l/s)

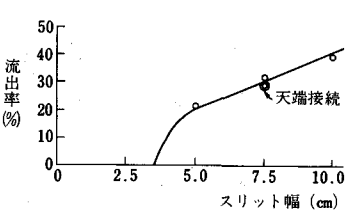


図-7 スリット幅と土砂流出率
(流量: 11 l/s)

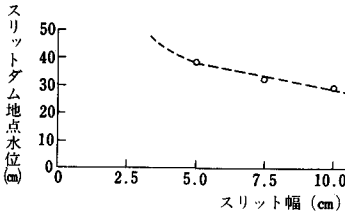


図-8 スリット幅と水位
(流量: 11 l/s)

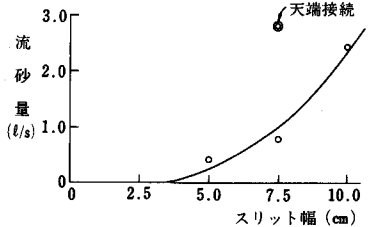


図-9 初期流出土砂量
(流量: 11 l/s)

スリット形状が同じ(幅 10 cm)で異なる流量下での排砂状況は図-10 に示すとおりで、流量の小さいほど最終的な流出土砂量が大きくなっている。これはせき上げ水位が流量の多いほど高く、これが一種の侵食基準面を与えることと、流量が小さくなると流れの集中が顕著になって流路が蛇行しながら側岸を侵食するためである。

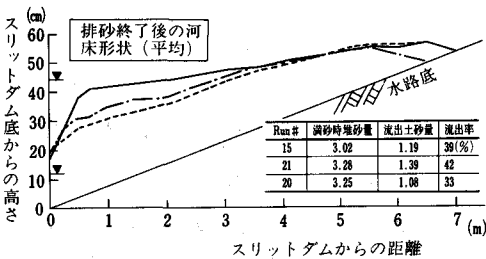
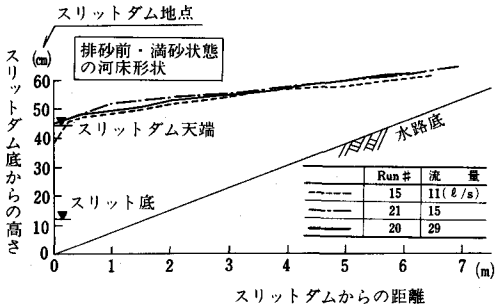


図-10 同一スリットにおける流量による排砂状況の差 (スリット幅: 10 cm)

流出土砂量は図-11のように変化する。初期の土砂流出形態は地すべり的であるが、流量の大きいほど流出土砂量が大きくなっている。

スリット形状が変わっても最初の45分間に流出する土砂量は流量が小さいほど大きいという傾向は変わらなかった。(図-12)

排砂終了後の堆砂肩下流の河床勾配は15°～26°でせき上げ水位の高いものほど急になる傾向がある。

6. 流出土砂の調節効果

スリットが土砂、流木等によって閉塞することが無ければ洪水中にダム上流に土砂が堆積し、洪水後半にその土砂の一部が流出して砂防ダムは流出土砂の調節を行う。幅7.5cmのスリットを有する砂防ダムに対して図-13のような洪水波形の流量を与え洪水前半にダムがほぼ満砂するだけの給砂を行ってダムによる流出土砂の調節を観察した。

(1) 堆砂・侵食過程

図-14に示すように流量増加時には、小流量時に形成された堆砂に重なる形で堆砂が進行し、給砂が無くなると侵食が始まる。洪水後半は流量が小さくなるので流路が形成され、最終状態の河床は平均河床高と最深河床高にかなり差が見られる。

(2) 流出土砂量

上流からの給砂量のピークが0.83ℓ/Sに対し、ダムからの流出土砂量のピークは0.63ℓ/Sで25%減少させた。

またピーク流出土砂量の出現時間を約50分

(現地時間で3.7時間)遅らせることができ、総流出土砂量の2/3を実験終了段階で貯砂した。いいかえれば堆砂量の1/3の土砂量を洪水終了時点までに流出させ貯砂容量を回復することができた。

7. 一次元河床変動計算による解析

以上に述べたスリットを有する砂防ダムの堆砂および排砂過程を一次元河床変動計算によって解析した。流砂量式としてはMeyer・P-eter-Müller形の次式を用いた。

$$q_b = 8.0 \times (\tau_* - \tau_{*c})^{3/2} \times \sqrt{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right) g d^3}$$

ここに、 q_b ：単位幅当りの流砂量、

$(\sigma/\rho - 1)$ ：砂礫の水中比重、 τ_* ： $U_*^2 / \{(\sigma/\rho - 1) q d\}$ 、 U_* ：摩擦速度、 $\tau_{*c} = 0.047$

スリット近傍では堆砂面の勾配を固定して計算を実施した。結果はかなり良好で、実験結果を十分説明することができる。ただし、Run 12およびRun 19では計算値の流出土砂量が、実測値より小さくなった。これは流路の蛇行や側岸侵食が表現できないためと考えられる。なおRun 12, 19では流路幅を実験結果より与えた。

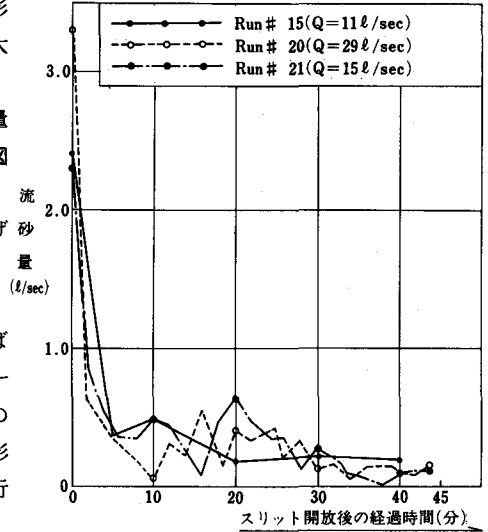


図-11 流出土砂量の時間的変化
(スリット幅：10 cm)

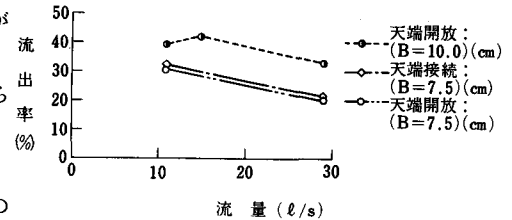


図-12 流量と土砂流出率の関係

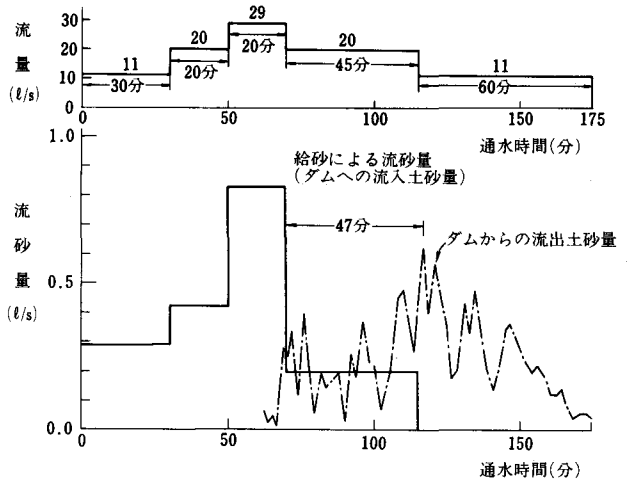


図-13 流量、給砂量、流出土砂量の時間的変化

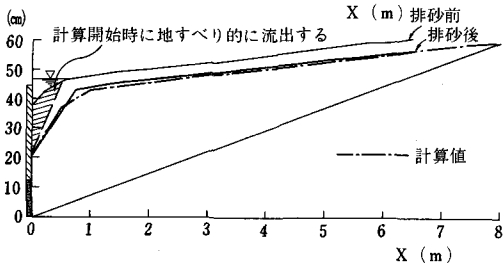
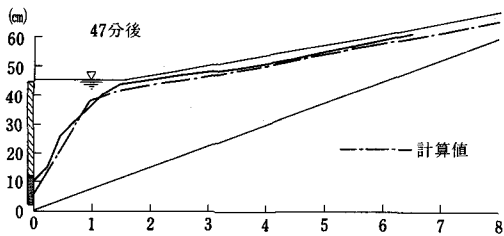
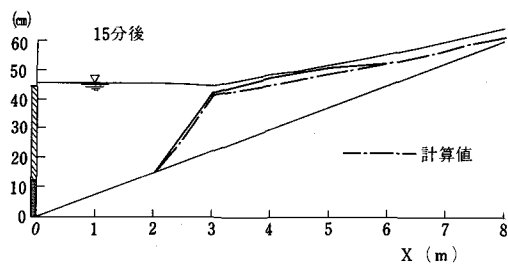


図-15 堆砂, 排砂過程 Run 9 ($b=7.5$ cm, $29\ell/S$)

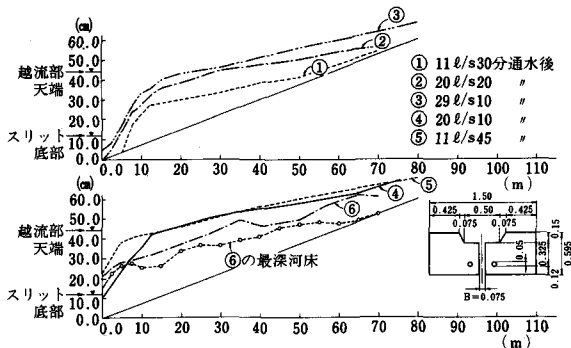


図-14 砂防ダム上流の河床変動状況

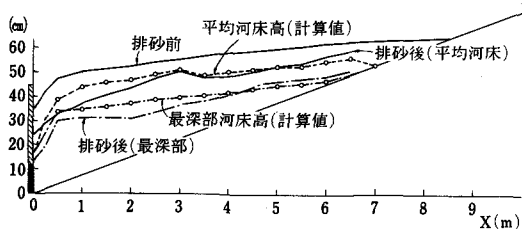


図-16 排砂過程 Run 12 ($b=7.5$ cm, $11\ell/S$)

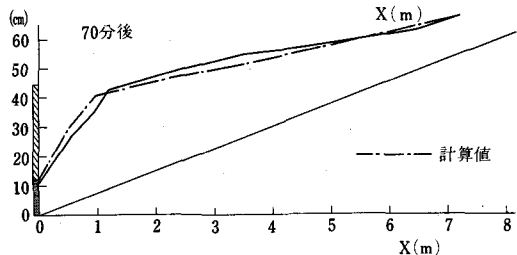
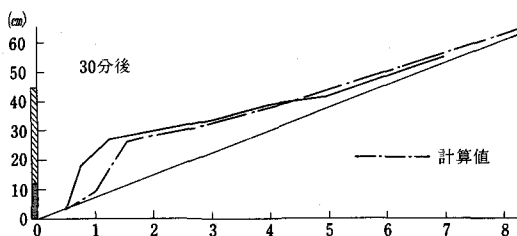
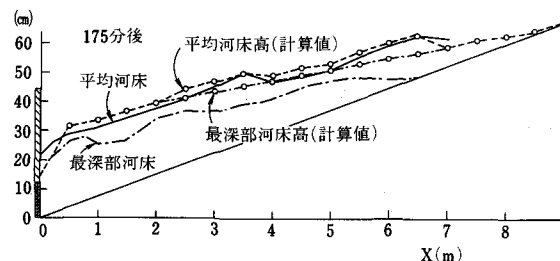
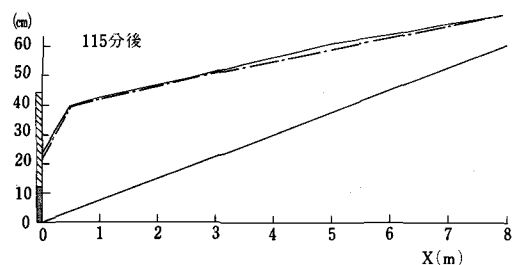


図-17 洪水波形を与えた実験の河床変動の追跡



8. 結 語

- (1) 大きな断面積を有するスリットについては、副ダムの位置の決定に際してダム天端からの落下水だけで

なくスリット部からの射出水も考慮する必要がある。本実験に用いた模型の場合、完全跳水させるには副ダムを高くする必要があった。その際、落水直前の水流の幅はスリット幅の4倍程度であった。

(2) スリット等開口部を有する砂防ダムについては多量の土砂流出の発生する時まで、泥、細砂によってダムの貯砂容量が減少するのを防ぐことができる。また、たまった水の腐敗する問題も解決できる。

(3) せき上げの程度によって流出土砂を調節する（ピーク流出土砂量を減少させ、流出土砂量の一部を一時的に捕捉する）効果が見られる。これは自然河道内の狭搾部の土砂の調節効果にもあてはまる。

(4) 現在考えられているスリットダムはスリット部が可動でないで、流出する土砂量と水量の時間的分布が異なるとその効果にかなりの差が現れる。いくつかの状況を想定して検討する必要があるが、ここに示したような一次的な方法でかなり解析できる。

(5) 流木等によるスリットの閉塞の後には異常な土砂の噴出が予想される。そのような状況も考えてスリットダムは下流の流路が安全なところに建設されなければならない。

(6) 本実験からの結果ではないが、流砂がある場合、流れがスリット部に集中するのでコンクリートの摩耗が激しい。スリットの下面を下流側の水面に一致させるか、ゴム板等の耐摩耗材を考える必要がある。

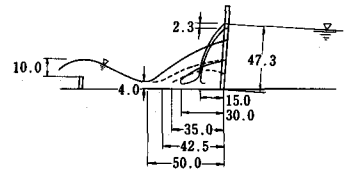


図-18 $b=7.5\text{cm}$, $29\ell/\text{s}$
(単位: cm)

参 考 文 献

- 1) 日本砂防史 § 6 技術工法の変遷, 6.5.2 砂防ダム, 全国治水砂防協会, 昭和56年6月
- 2) 芦田和男, 高橋 保: 土石流の調節制御に関する研究 — 立体格子型砂防堰堤の水利機能 —, 京都大学防災研究所年報, 第23号B-2, 昭和55年4月
- 3) 池谷 浩, 上原信司: スリット砂防ダムの土砂調節効果に関する実験的研究, 新砂防, Vol. 32, No. 3, 昭和55年
- 4) 渡辺正幸, 水山高久, 上原信司: 土石流対策砂防施設に関する検討, Vol. 32, No. 4, 昭和55年5月
- 5) 芦田和男, 高橋 保, 水山高久: 流路工計画に関する水理学的研究, 新砂防, Vol. 28, No. 2, 昭和50年11月