

1. はじめに

本研究は、揖斐川水系根尾川上流域に位置する能郷谷の砂防対策を考えるに当たって、要整備の最重要区間とみなされる能郷谷第1砂防ダムから第2砂防ダムに至る河道区間の異常土砂流出時における土砂移動の特性を水理模型実験によって検討し、その結果に基づいて当該区間の既存砂防施設の効果に対する評価を行い、また今後の砂防施設配置計画に科学的根拠を与えるために実施したものである。実験では、昭和40年災害時から現時点に至る砂防施設の建設段階に対応した河道模型を順次作製し、同一条件の土石流を与えることにより、砂防ダムの基数と河床変動の関係、格子スクリーンダムである能郷谷第3砂防ダムの土砂調節機能、第3砂防ダムと同型式の第4砂防ダムを新たに連続配置した場合の河床変動の変化状況などについて検討した。以下に実験結果の概要について述べる。

2. 研究対象地の概要

能郷谷は根尾川上流域の水源地帯を形成する1支川で、流域面積約20.1km²、流路延長約8.5kmを有する荒廃溪流である。地質は全般的に秩父古生層で占められ、最上流域には花崗閃緑岩が分布している。本流域には、根尾谷断層をはじめとして多くの地質構造線が発達しているので、地盤は極めて脆弱で豪雨により崩壊しやすい特性を備えている。近年における山地荒廃履歴として、昭和40年災害が特記できる。この災害は同年9月の台風24号に伴う集中豪雨に基づくもので、能郷谷流域において759箇所、約90万km²の崩壊地が生じ、約128万m³の土砂が崩壊地および溪床から流出し、さらに能郷谷本川上流部で約24万m³が洗堀され、これら総生産土砂量のうち能郷谷中・下流部河道に埋没・氾濫によって約127万m³が堆積し、残りの約22万m³は根尾川本川に流出したと考えられている。その後、昭和50年8月の台風6号時の豪雨によって、前記の災害時に生じた不安定土砂の一部が流出し、本川中・下流部に再び災害をもたらしたが、昭和40年のような破局的な災害には至らなかった。昭和40年災害以来、本川中流部で計11基の床固工群、上流部で能郷谷第1砂防ダム(H=17m, L=111m, S.46)、第2砂防ダム(H=15.5m, L=91m, S.47)、第3砂防ダム(コンクリートピア方式格子スクリーンダム, H=16m, L=147m, S.59)のダム群および各支谷の出口部には谷止工が順次整備され、現在に至っている。

3. 実験装置および実験方法

水理模型を製作する場合、模型の精度や粘着力の影響などを考慮して出来るだけ大きな模型縮尺にすることが望ましいが、ここでは諸種の制約によって水平および鉛直縮尺を1/200として、図-1に示すように能郷谷第1砂防ダムから第2砂防ダム上流200mに至る河道区間(流路長約1.7km, 河床勾配5°~10°)の水理模型を作製した。この模型水路の上流部には土石流供給水路として、長さ2mの矩形断面水路(20×30cm)2本と長さ60cmの水路1本を接続し、その勾配は上流から順に27°、20°、11°となって模型水路区間の上流部勾配に漸近させている。なお、勾配27°の水路上部には疑似土石流の発生・供給装置が取り付けられている。

各実験においては、模型水路区間の水路床に原型の河床構成材料の粒度分布と幾何学的に相似な土砂を推定河床高に合わせて平らに敷き、十分に散水した。その後、水路床材料と同一の粒度特性を有する土砂で容積濃度 0.3 の擬似土石流体を造り、水路上流端の土石流供給装置から総流量 45 l 与えた。模型水路上流端に達した流れは、実際の土石流の特性である濃度偏析、粒度偏析の傾向を示していた。この流れは模型水路区間に流入すると、先頭部が停止・堆積したあとを後続部が侵食する。または、堆積を生じて低濃度化した流れが、その下流部を侵食するといったサイクリックな河床変動を生じせしめる。この河床変動に砂防ダムの与える効果を、次のような 3 種類の実験を行って調べた。

① 実験 A … 模型水路区間の所定位置に能郷谷第 1 砂防ダム、第 2 砂防ダム、第 3 砂防ダムを順次設置し、ダムの基数と河床変動の関係を調べる実験。

② 実験 B … 能郷谷第 1、第 2、第 3 砂防ダムを設置した条件で、第 3 砂防ダムのスクリーンの格子間隔を変化させ、それぞれの場合における河床変動および堆積土砂の粒度特性の差異を調べる実験。格子間隔は、原型 (1 m) の模型値 5 mm の他に 6 mm、8 mm、12 mm と変化させ、特殊な条件として、「格子なし」と格子の「完全閉塞」の条件を設けた。

③ 実験 C … 第 3 砂防ダムの上流に同型式の第 4 砂防ダムを新規に増設した場合の河床変動の変化を調べる実験。この場合、第 3 砂防ダムの格子間隔は 5 mm に固定。

4. 実験結果

4-1. 実験 A に関して

(1) ダム基数と区間河床変動量の関係

図-2 は、ダム 1 基、2 基および 3 基それぞれの場合における 20 cm 毎の区間河床変動量の測線距離に伴う変化の傾向をフーリエ曲線で描き比較したものである。ここで、測線距離とは模型水路の最下流端からの距離を意味する。この図から明かなように、区間河床変動量はダムの基数に関係なく、ほぼ同様な変化傾向を示す河道区間と、ダム基数の変化により異なった変化傾向を示す河道区間とが存在していることが認められる。これは、前者についてはダムの影響を受けて

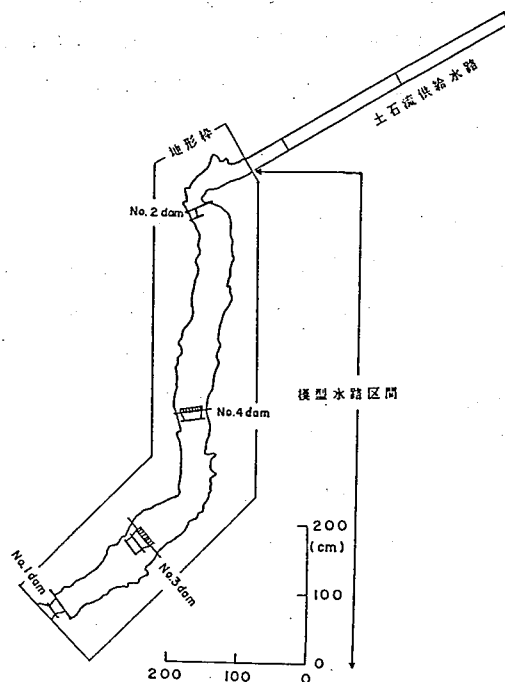


図-1 模型水路の平面図

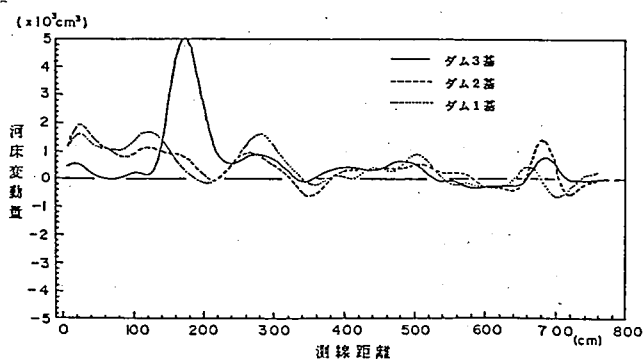


図-2 ダムの基数による区間変動量曲線の比較

いない区間であり、後者はダム設置の影響を直接的に受けている区間に相当している。測線距離 680 cm 付近の変動量の差異は、第 2 砂防ダムの設置に基づくものであり、測線距離 240 cm より下流区間における大きな差異は、第 3 砂防ダムが河床変動に直接的に大きな影響を及ぼしていることに起因している。

(2) ダム基数と総変動量の関係

図-3 の実線は、ダム基数と模型水路全区間の総変動量の関係を示したものである。この図から、ダム基数の増加につれて総変動量は漸増することがわかる。先ずダム 1 基と 2 基の場合に関しては、両ダム間の河道の土砂変動量にはあまり差異がなく、第 2 砂防ダムの堆砂量の方だけ僅かであるが総変動量は増加する。次にダム 3 基とダム 1 基、2 基の場合を比較すると、ダム 1 基、2 基の場合において、第 3 砂防ダムの設置地点下流部での堆積土砂量が、ダム 3 基の場合における第 3 砂防ダムの堆砂量に近い値となるため、総変動量は激増せず漸増の傾向となる。そこで、この傾向をより顕著に表すために、第 3 砂防ダム設置地点の上流部の累加変動量と下流部の累加変動量に分けて、ダム基数との関係を示すと、図中の鎖線のようになる。すなわち、第 3 砂防ダム上流部では、ダム基数が増すにしたがって累加変動量が増加し、逆に下流部では減少し、特にダム 3 基の場合は累加変動量の著しい増加および減少を示す。このことが総変動量の漸増の原因となっている。

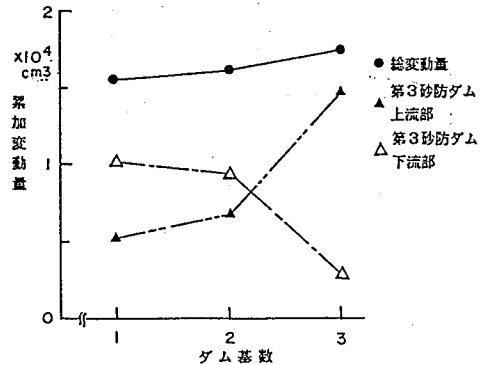


図-3 ダム基数と累加変動量の関係

4-2. 実験 B に関して

(1) 第 3 砂防ダムのスクリーン格子間隔と同ダム堆砂域の土砂変動量の関係

図-4 は、第 3 砂防ダムの堆砂域に相当する測線距離 180~260 cm 区間の累加変動量とスクリーン格子間隔との関係を表したものである。この図から、格子間隔が増大するにつれ、土砂変動量は指数関数的に減少することがわかる。これは、各格子間隔におけるスクリーンの閉塞の程度が「5 mm 格子」：完全閉塞、「6 mm 格子」：下部 2/3~3/4 閉塞、

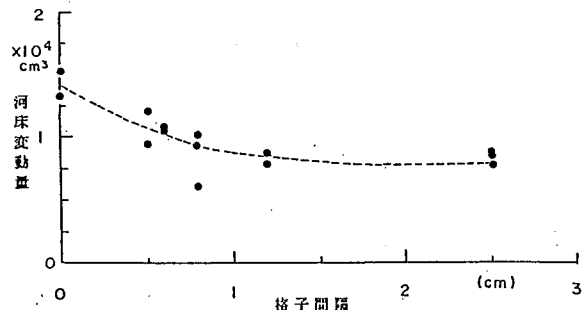


図-4 第 3 砂防ダム堆砂域の変動量と格子間隔の関係

「8 mm 格子」：下部 1/2 閉塞、「12 mm 格子」：無閉塞 となることに起因している。

(2) 第 3 砂防ダム上・下流部における堆積土砂の粒度特性とスクリーン格子間隔の関係

図-5 は、第 3 砂防ダム上・下流部における堆積土砂の標準偏差 ($\sqrt{d_{84}/d_{16}}$) と測線距離の関係を図示したものである。この図から、格子間隔の大きさによる標準偏差の差異はあまり認められないが、上流より第 3 砂防ダムに向かって標準偏差の値は徐々に減少していることがわかる。このことは、粒度偏析を有する流れが第 3 砂防ダムに捕捉され、同ダムのスクリーン近傍では、格子による土砂のふるい分け作用がより顕著となり、粒径の散らばりが小さくなるためである。第 3 砂防ダムから下流の測線距離 140 cm にかけて、標準偏差の値が大きくなっているのは、この河道区間がダム通過流による

侵食区間に相当するためである。また、測線距離 140cm 下流において再び標準偏差値が減少しているが、これは第 1 砂防ダムの堆砂域の堆積物表層部の細粒土砂が流出し、粒度の集中現象が生じることに基づいている。

4-3. 実験 C に関して

実験 A, B の結果をもとに、新規の第 4 砂防ダムのスクリーン格子間隔を 8mm, その設置位置を第 3 砂防ダム上流 213.5cm の測線距離 390cm として、計 4 基のダムを配置した場合の区間河床変動量を、現在のダム 3 基の場合と比較したものが図-6 である。この図から明かなように、第 4 砂防ダムを新設して格子スクリーンダムを連続配置すると、土石流を分散させて堆積せしめることがわかる。これを両ダムの堆積土砂量についてみると、第 4 砂防ダムを新設しない場合の第 3 砂防ダムの堆積土砂量は約 11000cm^3 となるが、新設した場合には第 3, 第 4 砂防ダムの堆積土砂量は、それぞれ約 5110cm^3

と 8040cm^3 になり、第 4 砂防ダムの土石流に対する抑止調節効果がみられる。また第 4 砂防ダムを新設すると、既設の第 3 砂防ダムへの土石流の流入角度が良好となること、第 3 砂防ダムのスクリーンの閉塞の程度が改善され、格子スクリーンダム本来の機能がより発揮されるようになること、などの効果が期待される。

なお、洪水流に対する格子スクリーンダムの土砂調節機能については講演時に述べる。

謝辞；本研究は建設省中部地方建設局越美山系砂防工事事務所の協力を得て行われたものであり、資料提供などに積極的に便宜を計って頂いた稲葉勝一氏、富増弘一氏および関係各位に厚く感謝する次第である。また実験に当たっては、京都府立大学農学部砂防工学研究室の専攻生諸氏（昭和 60, 61, 62 年度卒業生）の多大な協力を得ている。ここに記して感謝の意を表す。

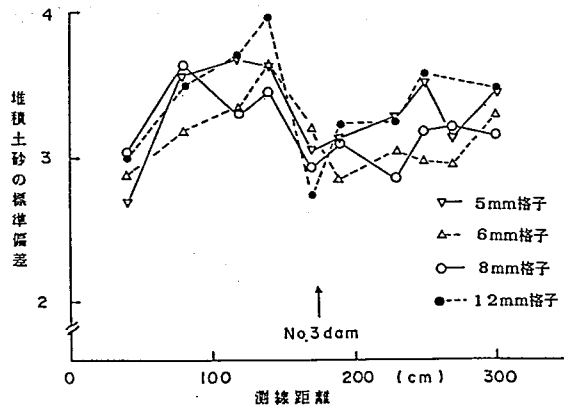


図-5 第3砂防ダム上・下流部における堆積土砂の標準偏差と格子間隔の関係

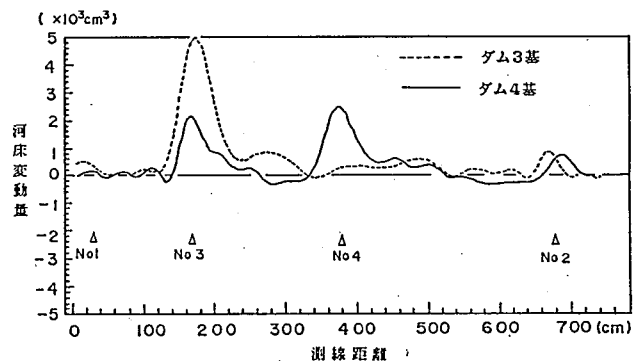


図-6 ダム3基と4基（第4砂防ダムの新設）の場合における区間変動量曲線の比較