

3 ゲート付砂防ダムに関する構造及び機能検討

建設省天竜川上流工事事務所

○小川喜睦・中安正晃

京都大学農学部

水山高久

建設省土木研究所

石川芳治・矢島重美

建設省中部地方建設局

今井一之

パシフィックコンサルタンツ（株）

平松晋也・青柳泰夫

1. はじめに

従来のクローズタイプの砂防ダムにおいては、流出土砂調節量と生産土砂抑制量によりその効果を期待しているが、上流域が著しく荒廃している流域では、膨大な流出土砂量に対して大規模な砂防ダムを何基も建設せざるを得なくなる。加えてこのような流域では、その効果量として砂防ダムの貯砂容量に期待することも重要な課題となってきた。一方、大規模な砂防ダムを何基も建設すると、平常時にはダム地点より下流域へと供給される土砂量は減少し、下流域において河床低下を引き起こすことも懸念される。これらの問題は、平常時に

は下流に対して河床低下を生じさせず、かつ洪水時の危険性が生じない程度の土砂を供給するとともに、洪水時に備えて常にダムを空にしておくといった施設や対策を構ることにより解消されることになる。

このような土砂をとりまく様々な問題に対処するため、天竜川上流工事事務所管内の小洪川上流域を対象として砂防ダムの機能を確実にし、かつ増加させるべく暗渠部に補助設備として貯砂ゲート¹⁾を設けた【高機能砂防ダム：ゲート付砂防ダム】の実現化に向けての機能面並びに構造面での検討を行った。

2. 小洪川流域における人為的土砂調節の必要性

流域平均崩壊面積率（単位面積当りの年流出土砂量）を指標として高機能砂防ダム計画地点である小洪川本川上流部の現時点（昭和58年災害後の荒廃状況）での山腹斜面からの土砂生産状況を眺めると、5%以上と他流域と比較して極端に大きくなっていることが確認された。この小洪川流域内には、事務所管内の砂防施設の大部分（42%：直轄砂防施設 約70基）が設置されているものの、流域の荒廃度が著しいため、現況時における土砂整備率は、他官庁所管の施設をも含めた場合でさえ20%程度にすぎない。

こういった当該流域の土砂整備状況より判断すると、短期間の内に大量の事業投資を行い、土砂災害に対する安全性を確保するのは現実的には、投資額や工事期間等の面からもほとんど不可能である。

このような状況に対処するためには、砂防ダム1基当りの効果量を増大させるといった工夫が必要となる。具体的な方策としては、クローズタイプの砂防ダムとした場合、その効果量として取り扱うことの出来ない貯砂容量分をも有効に活用することで多少なりとも解決（工事費削減・工事期間短縮）されることになる。こういった上流域から生産される土砂の効果的な調節手法としては、現況の砂防計画並びに既往研究成果等により判断すると【大暗渠やスリットを有する砂防ダムによる土砂調節（自然営力に期待）】

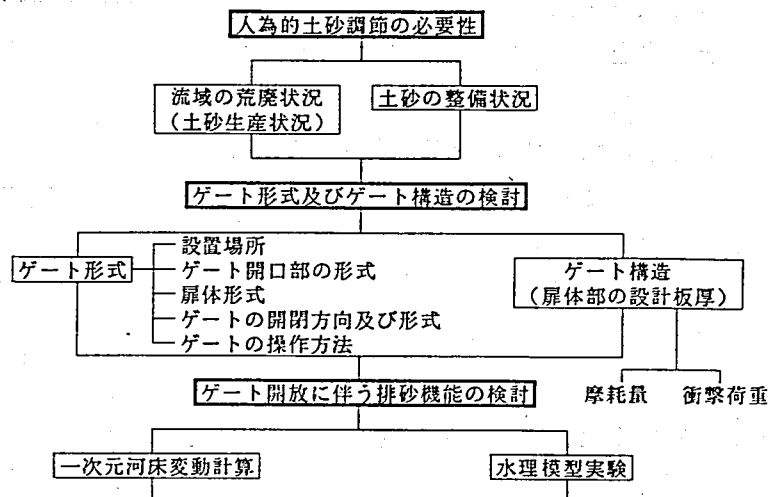


図-1 調査・検討フロー

が考えられる。しかしながら、大暗渠やスリットを有する砂防ダムの場合、開口部の規模如何によっては出水の後半に大量の土砂が流出したり、堆積した土砂や流木が突発的に流出するといった思わぬ災害を引き起こすことも懸念される。このような状況より判断すると、小渋川本川上流域のように荒廃化が進み、土砂生産の活発化により平年時においても大量の土砂が流出するような恐れのある流域に対しては、その機能を確実にかつ安全に発揮させようとする場合、スリット部や大暗渠部に補助施設としてゲートを設けることにより人為的に土砂調節を行うとする『ゲート付砂防ダム』が有効な手段となるものと考えられる。

3. ゲート形式及びゲート構造の検討

3.1 ゲート形式の検討

ゲート形式に関しては、既存の研究²⁾により様々な形式を想定し、それぞれの得失や摘要条件がとりまとめられている。ここでは、これらの研究成果を参考に、小渋川上流部に高機能砂防ダムを設けた場合の①構造面、②施工静、③維持管理面並びに④経済性に着目し、最適ゲートの形式の検討を行った。

1) ゲートの設置場所

表-1に示すように、ダム軸に対して横断方向及び縦断方向のゲートの設置場所としては、ゲート部本体の土砂のかみ込み対策や摩耗及び衝撃力対策といった構造面及び維持管理において有利となる「非越流部・堤体下流側」設置とした。

2) 扉体及びゲート開口部の形式

扉体形式としては維持管理面を勘案し、「非透過型（クローズタイプ）」とし、ゲート開口部の形式としては、非越流部設置及び後述の引き上げ形式のゲートを採用した場合に有利となる「暗渠形式」を採用した。

3) ゲートの開閉方向及び開閉形式

ゲートの開閉方向としては、非越流部・暗渠形式とした場合に有利となる「スライド形式：引き上げ方式」を採用した。

4) ゲートの操作方法

ゲートの操作方法としては、ワイヤーロープウィンチ式、スピンドル式、ラック式、油圧シリンダ式が考えられるが、スライド形式：引き上げ方式を採用した場合の維持管理の容易さ、経済性を考慮し「ワイヤーロープウィンチ式」を採用した。

3.2 ゲート構造の検討（扉体部の設計板厚の検討）

通常の河川用ゲートとは異なり砂防ダムにゲートを設けた場合、土砂礫の流下に伴う扉体部の衝撃や摩耗による損傷を考慮した設計板厚とする必要がある。ここでは、水理模型実験（模型縮尺：1/25）を実施し、流下礫が扉体部に衝突する状況について把握した。具体的には、図-2に示したように一定勾配を有する直線水路内に設置された砂防ダムの部分模型に上流より土砂を含む流水を通水し、水路側面よりビデオカメラ、写真撮影により礫のゲート部への衝突状況を計測し、その①衝突速度、②衝突角度、③衝突頻度を

表-1 ゲート形式の比較検討

検討項目			構造の概略	砂防ダムへの適用度	
ゲートの設置場所 ゲート形式の検討	横断方向	越流部		△	
		非越流部		○	
	縦断方向	堤体の上流側		×	
		堤体内		△ 越流部上流側 案の場合有利	
		堤体の下流側		○	
	開口部の形式	スリット形式		○	
		暗渠形式		○	
	扉体形式	透過形		×	オープンタイプ
		非透過形		○	クローズタイプ

それぞれに把握した。ここで、ゲートタイプとして図-3に示すように3種類設定し、対象流量としては100年、10年、2年超過確率流量及び2年確率流量の半分の定常流を流下させた。

1) 礫の衝突速度

ビデオ映像を基に砂礫の扉体部への衝突速度を判読した。礫径と衝突速度との関係を取りまとめた図-4より、10年超過確率規模を上回る流量（470m³/s）が生じた場合には、礫径の増加とともに衝突速度は減少するようになるものの、流量規模の減少とともに衝突速度は流量に依存しなくなることがわかる。また、最大の衝突荷重((1)式参照)を与えることになる砂礫の衝突速度は0.84 m/s（対象粒径40cm）であった。

2) 礫の衝突角度

実験水路上方並びに側方から撮影した移動軌跡図より、礫の扉体部への衝突角度は80°～110°の範囲内にあり、基本的には扉体部に対してほぼ直角（90°）に衝突していることが確認された。

3) 礫の衝突頻度

複数の礫がダム軸に多く衝突しそうな状態を再現し、その状態時のビデオ画像から1/3(sec)間隔の衝突頻度分布を測定し、ダム軸に同時に衝突している礫数の確認を行った結果2個以上の礫が同時に衝突することはないことが確認された。

上記水理模型実験により得られたゲート扉体部への礫の①衝突速度、②衝突角度、③衝突頻度を用いて(1)式により礫の扉体部への衝突エネルギーを算定し、ゲート扉体部を摩耗並びに衝撃力から保護するためのライニングプレートの設計板厚を算定した。ここにW：砂礫1個当りの重量、V：衝突速度、 θ ：衝突角度、g：重力加速度（ $g=9.8\text{m/S}^2$ ）である。この結果、最大衝撃荷重（対象礫径：40cm）は約19t

$$\text{礫の扉体部への衝突エネルギー：} E = \frac{1}{2} \cdot \frac{W}{g} \cdot (V \cdot \sin \theta)^2 \quad \dots \dots \dots (1)$$

となり、ゲート扉体部におけるライニングプレートの必要設計板厚は、流下砂礫による摩耗を考慮した場合でも、金属材（SS41, SUS304, SUS42011, SUS630）を使用する限り、概ね10mm程度で十分であることが確認された。図-5は、礫径と衝撃荷重との関係を取りまとめたものであり、同図より流量規模が同一の場合、礫径の増加とともに衝撃荷重も大となるものの、対処礫径の値如何によっては（礫径：30cm以上）、流量

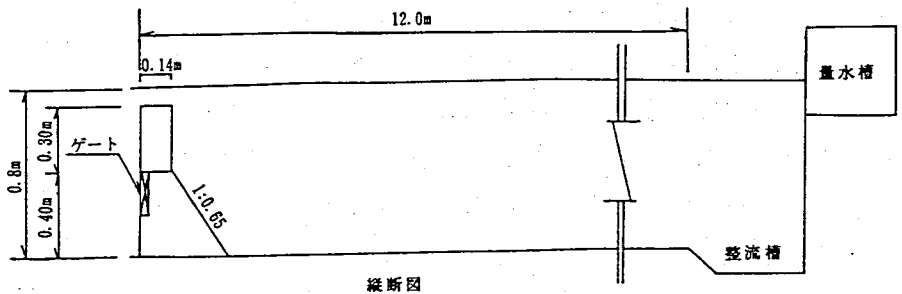


図-2 実験水路の概要

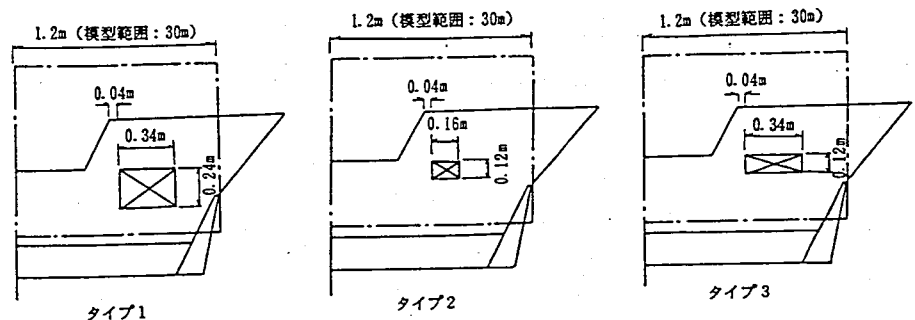


図-3 ゲートのタイプ

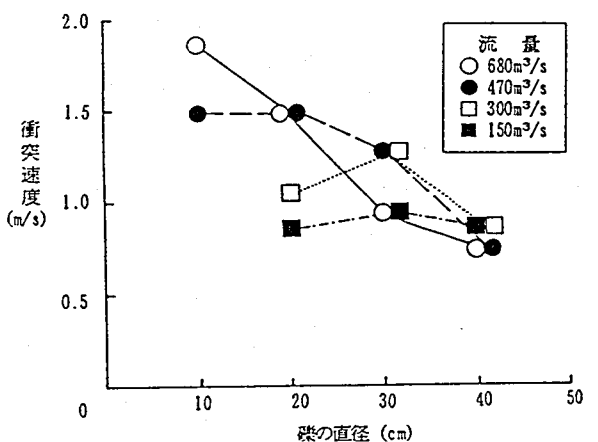


図-4 礫径と扉体部への衝突速度との関係図

如何によっては（礫径：30cm以上）、流量規模が大きいほど衝撃荷重がちいさくなるといった結果も認められた。

4. ゲート開放に伴う排砂機能の検討

小渋川上流域に位置する上蔵砂防ダム上流部に『ゲート付砂防ダム』を設置するのを前提に、水理模型実験によりゲートの排砂機能に関する検討を実施した。

実験ケースは、別途実施された一次元河床変動計算結果³⁾を参考に、ゲート規模を高さ(m)×幅(m):5×7.5, 3×8.5, 4×6.5, 6×4, 5×3, 4×3と種々変化させた場合の6ケースである。

実験に用いた流量としては、昭和57年から平成3年迄の10年間の流量資料を基に、非洪水期には毎年生じている最大流量規模である20m³/sec程度の流量を3日間(模型時間:10時間)継続させた。

図-6は、ゲート部からの流出土砂量（排砂量）とゲート高さとの関係を取りまとめたものであり、ゲート高さの増加とともに排砂量も増加する傾向が認められる。また、図-7は、ゲートの経済性すなわち1m³の土砂を排砂するのに要するゲート建設費用を各ケース毎に

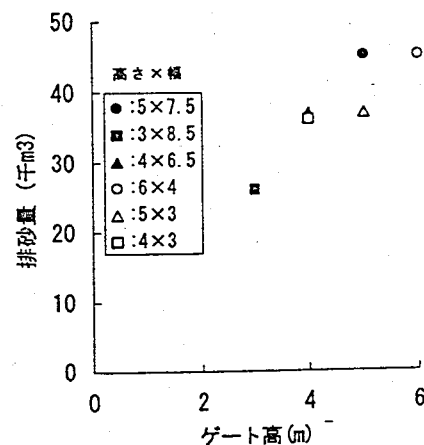


図-6 排砂量とゲート高さとの関係

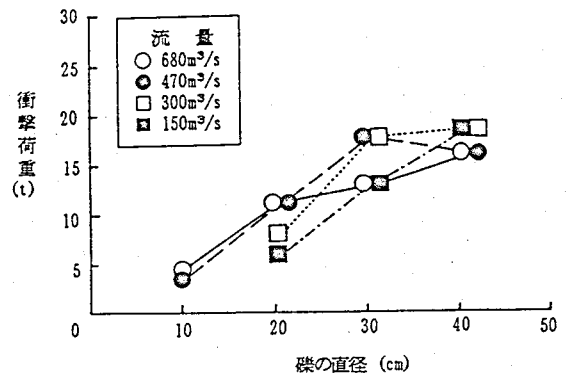


図-5 礫径と衝撃荷重との関係

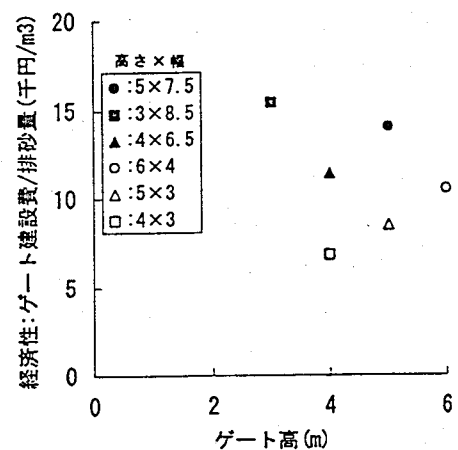


図-7 経済性の比較

とりまとめたものである。同図より、ゲートの規模を高さ×幅:4m×3mとした場合、1m³の土砂を排砂するのにかかる費用は最小値を示すことがわかる。以上の結果より、当該地点でのゲート規模としては、ゲート高×ゲート幅: 4.0m×3.0mとするのが最も有効であると判断された。

5. おわりに

砂防ダムのスリット部や暗渠部にその補助施設としてゲートを設けることにより人為的に土砂調節を行おうとする【ゲート付砂防ダム】の機能面や構造面での検討を行ったわけであるが、このゲート付砂防ダムについては平成3年度より検討を開始し、平成4年度からは検討会を設置し、その実現に向けてゲート付砂防ダムの機能、構造及び施設完成後の管理・運用方法について総合的な検討を行い、平成7年度にはこれらの検討結果を踏まえ工事着工を予定している。最後に、本検討を遂行するに当たって有効なご助言を頂くとともにご協力いただいた（財）砂防・地すべり技術センターを始め関係各位に対して感謝の意を表する次第である。

<引用文献>

- 1) 市村 清：砂防ダムにおけるゲート排砂について。昭和62年度砂防学会研究発表概要集, 昭和63年5月
- 2) 水山高久・阿部宗平・矢島重美：砂防ダムの排砂ゲートに関する研究。新砂防Vol.44 No.1, 1991
- 3) 建設省天竜川上流工事事務所：平成4年度ゲート付砂防ダム計画検討業務報告書。平成5年3月