

洪水調節専用（流水型）ダム放流設備の 流木対策スクリーンの設計法

櫻井寿之* 箱石憲昭**

1. はじめに

近年、水需要の停滞等により治水専用ダムの計画が増加しつつある。治水専用ダムでは常時に水を貯留する必要がないことから、ダム上下流の土砂と生物移動の連続性を可能な限りダム建設前に近い状態にすることを目的として、放流設備を河床に近い標高に設置する計画がなされるようになってきている。最近では、このようなダムは、常時に水の貯留を行う「貯留型ダム」に対して「流水型ダム」と称され、堆砂対策や環境保全における利点から注目されつつある。

しかしながら、常時に貯水しない流水型ダムの放流設備では流木による閉塞が懸念される。図-1に示すように従来の貯留型ダムでは、網場と呼ばれるフロートとネット等で構成された流木止め施設をダム上流貯水池に浮かべて設置することによって、ダムの放流設備への流木の進入を防ぐことができる。これに対して流水型ダムでは、ダム上流に水面がないため、上述のようなタイプの流木止めは損傷や土砂による埋没等の問題があり機能発揮の信頼性に不安がある。流下してきた流木の多くがダムまで到達した場合には、放流設備が閉塞され、ダムの機能が発揮できなくなる可能性がある。

従来の放流設備の流木対策としては、吐口部断面積が $2\text{m} \times 2\text{m}$ 以下の小規模な場合には、常時の貯留を行うか否かにかかわらず、網場の設置とともに呑口全体を覆うスクリーンが設置されている¹⁾。一方、ある程度流木等の通過が期待できる大規模放流設備の場合には、貯留を行うダムでは、網場を設置することで流木対策が図られてきているが、土砂を積極的に流下させる流水型ダムのための流木対策は確立されていなかった。

そこで筆者らは、大量の流木の流下によって大規模放流設備の放流能力が影響を受けないようにするための流木対策を開発することを目的として



図-1 貯留型ダムの流木集積状況（鶴田ダム2006年8月）

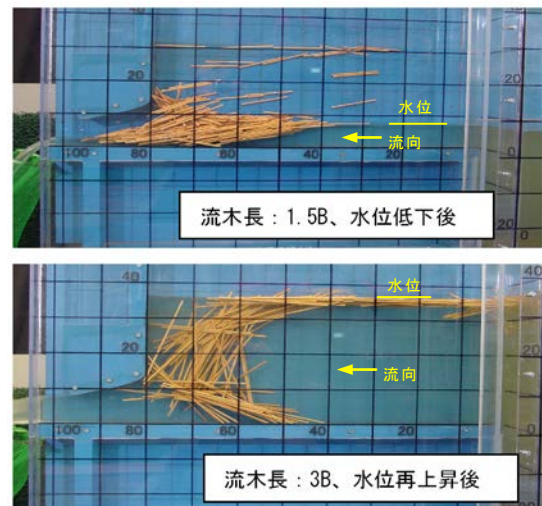


図-2 流木流下実験結果（B：放流設備出口幅）

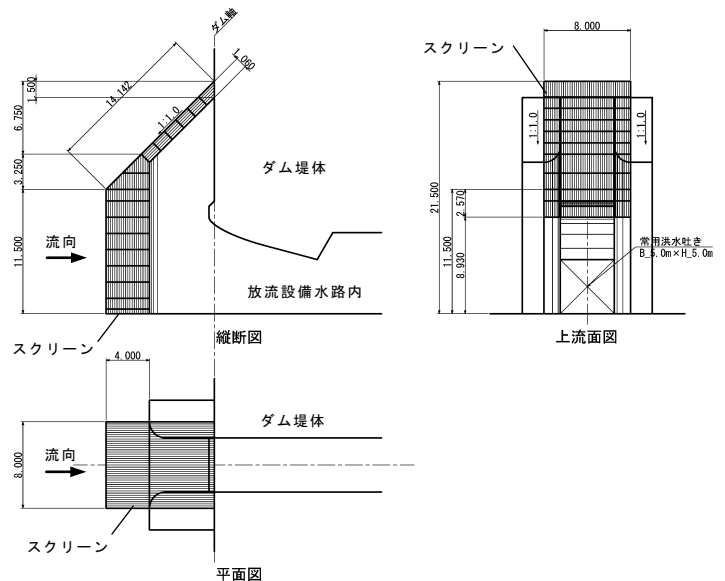


図-3 流木対策スクリーンの形状（単位：m）

水理模型実験により検討を行った。その結果、固定式スクリーンによる対策とその水理設計手法を提案しており、本稿ではその内容を紹介する。

2. 流木対策スクリーン

始めに流木の基本的な流下特性を把握するために放流設備上流を2次元水路とした実験を行い、その後3次元的なモデルで対策の検討を行った²⁾。

実験の結果、対策を行わない場合、流木が呑口上流に集積した状態で水位の変動が生じると放流設備の閉塞が生じる可能性があることがわかった(図-2参照)。そこで、図-3に示すような前面下方をオープンにした固定式のスクリーンを用いた対策を提案した。この対策により出水時に大量の流木が流下する状況を想定した実験において、流木による閉塞を生じさせずに、放流能力が維持できることを確認した。

実験における放流設備形状や流木の条件は限定されたものであったが、以下の知見が得られた。

- ①戸溝（ゲートを設置するための溝）のない1面ベルマウスの放流設備では、開水路流の状態において流木で閉塞することはない。
- ②対策を行わない場合、流木が呑口上流に集積した状態で水位の変動が生じると放流設備の閉塞が生じる可能性がある。
- ③前面下方をオープンにした固定式のスクリーンによる対策が、確実性、放流能力の維持及び維持管理の面から有利である。
- ④提案したスクリーン形状により、出水時に大量の流木が流下する状況を想定した実験において、放流能力を維持できることが確認できた。

これらの知見は平成18年に竣工した島根県の益田川ダムにも参考にされ、図-4に示すような流木対策スクリーンが設置されている。

3. 流木対策スクリーンの設計法

流木対策スクリーンを提案した後、流木密度の大きい条件での実験を行って流木が閉塞（またはスクリーン表面へ集積）した場合の流木集積の空隙率（流木が集積した領域の隙間の容積と領域の容積の比）及び放流能力への影響の検討を実施した³⁾。また、流木の流水抵抗について実際の流木を用いた実験により検討を行った³⁾。これらの検討結果を踏まえて考案した流木対策スクリーンの



(ダム上流左岸から)

(放流設備上流から)

図-4 益田川ダムの流木対策スクリーン

設計手法を以下に示す。

3.1 スクリーン形状の決定法

スクリーン形状については、流木の集積を低減させるためにスクリーンの表面（開口部を含む）における流速を低減させることが重要であり、目安としては対象流量（設計洪水水位時の放流量等）をスクリーンの表面積で割って求めた平均流速を2m/s程度以下とすることが望ましい。流速2m/s程度の値については、既往のスクリーン形状の水理実験による検討²⁾で、この条件において流木の張り付きが顕著でないこと及び流木が張り付いた場合にもスクリーン内の圧力低下量が小さいことを確認している。

その他の留意点としては、効率的な維持管理のために小出水時の流木が通過できるよう開水路流となる領域（呑口ベルマウス始端の標高程度まで）の上流面を開口部とすることおよびスクリーン上面を流木が乗らないように45°程度の傾斜を付けることが挙げられる。また、流木が引っ掛かりにくくするために、スクリーンの表面に水平方向の突起物が無いようにすべきである。なお、スクリーン開口部の幅については、放流設備の開口幅と大きく異ならないようにするなどして、スクリーンの内部に流木が引っ掛かることなくスムーズに流下できるよう配慮する必要がある。

3.2 スクリーンの内外水位差の算定法

スクリーンの構造設計を行うためには、スクリーンに作用する外力を設定する必要がある。通常、供用時のスクリーンの内側と外側に生じる水位差を設定してその水圧の差がスクリーン表面に作用しても安全となるように設計されている。流木の閉塞現象については、流木の形状（長さ、太

さ、曲がり、枝や根の有無等)、流木の密度及び集積時の絡み方等関係する要因が多岐にわたり複雑である。そこで、算定においては限られた条件での実験結果を用いているため、安全側となる条件に配慮して、スクリーンに大量の流木が集積している状況を想定し、集積した流木全体による損失を考慮することとした。

ここで、スクリーンへ作用する荷重については、流木の比重を1と想定した場合、集積した流木そのものがダム堤体や湖底との摩擦で荷重の一部を受け持つ可能性があるが、摩擦力の評価は現時点では困難である。そこで、流木が受け持つ荷重をゼロとして内外水位差による荷重設定とすることで安全側となり問題ないと考えている。なお、流木の比重が1より小さい場合には、流木への浮力の作用により、比重を1とした場合よりもスクリーンへの作用荷重は小さくなると考えられる。一方、流木の比重が1より大きい場合には、流木の流下形態が流水の底面付近の移動となり、流木の集積がスクリーンの上部には及ばず作用荷重は小さくなるものと考えられる。

流木の集積による流水抵抗については、実際の流木を用いた流水抵抗実験(図-5参照)の結果³⁾から、単位流木層厚当たりの損失が流木中の速度水頭に比例すると考えて、以下の式で算定する。

$$\Delta H_L = f_{dwL} \cdot L \cdot \frac{V_{mid}^2}{2g} \quad (1)$$

ここで、 ΔH_L : 流木上下流の全水頭の差(損失水頭)(m)、 f_{dwL} : 損失係数(1/m)、 L : 流木層厚(実験では流木設置長2m)(m)、 V_{mid} : 断面平均流速(m/s)(断面積は、上流側と下流側の流水断面積を平均して算出する)、 g : 重力加速度(m/s²)を表す。

算定に用いる損失係数としては、実験結果(図-6)における空隙率が最も小さく、流速が最も大きいケースを参考に、

$$f_{dwL} = 7 \text{ (1/m)} \quad (2)$$

を採用する。また損失の算定においては、集積した流木の領域をスクリーン表面から一定の距離(ΔL : 分割層厚と呼ぶ)毎に層状に分割し、それぞれの層の損失を足し合わせることで全体の損失を算定する。分割層厚は流水抵抗実験の流木設置長さの条件である2mとする。

算定手順を具体的に示すために、算定例を以下



(空隙率0.680、流量500L/s、実験水路下流から撮影)

図-5 実際の流木を用いた流水抵抗実験の流況例

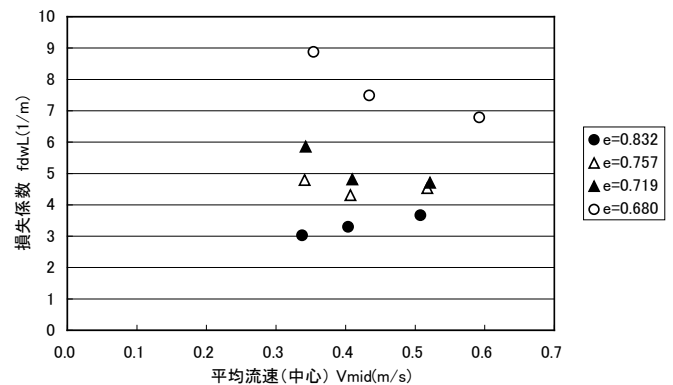
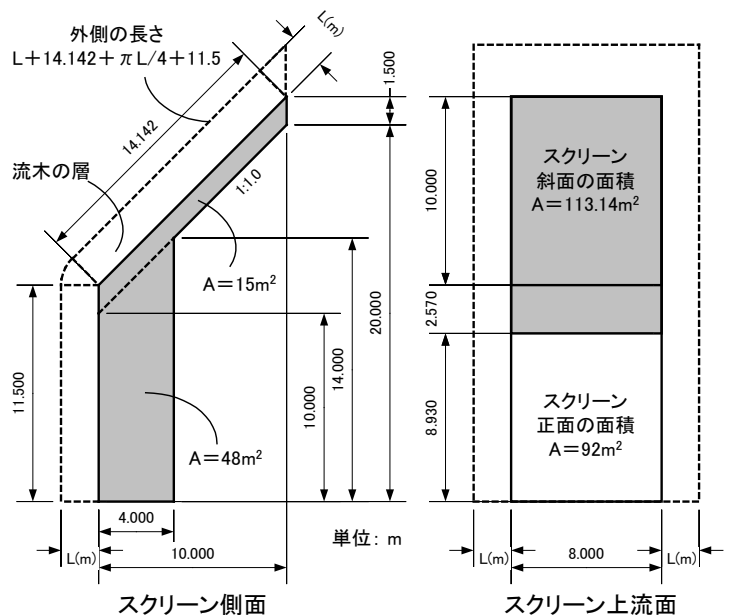


図-6 平均流速と損失係数の関係 (e: 空隙率)



側面の増分の面積(流木層厚 L_m とした場合)
 $L \times (14,142 + 11,500) + L^2/2 + \pi L^2/8$

斜面及び正面の面積(流木層厚 L_m とした場合)
 $(L + 14,142 + \pi L/4 + 11,500) \times (8 + 2L)$

図-7 スクリーン及び集積流木の表面積算定の概要

に示す。

対象とする流量を700m³/s、流木対策スクリーンの形状は図-3に示す形状とする。この場合、表面積（開口部の面積を含む）を算定すると、331.14m²となる（図-7参照）。また、流木が層厚L(m)で堆積した場合には、その外縁の表面積は、下記の式で与えられる（図-7参照）。

$$A = 2 \left\{ 63 + (14.142 + 11.5)L + \frac{L^2}{2} + \frac{\pi L^2}{8} \right\} + \left(L + 14.142 + 11.5 + \frac{\pi L}{4} \right) (8 + 2L) \quad (3)$$

ここで、A：表面積(m²)、L：流木層厚(m)を表す。

上記の条件で損失水頭を計算した結果を図-8に示す。ここで、各流木分割層内の流速は内側の表面積と外側の表面積の平均値から算出している。これより、流木層厚が20mを超えると損失水頭の増加量は非常に小さくなり、層厚50mでの損失水頭（内外水位差）を算定すると約3.2mとなる。

ここで、従来、取水設備等のスクリーンの内外水位差は2m程度以下で設計されているが、従来の設計値で設計する場合は更にスクリーンを前に張り出すという選択肢も考えられる。或いは、放流能力の観点からは問題はないので、算定された内外水位差を満たす強度を有する構造とする選択肢もあり、最終的には経済性等を考慮して形状案が決定される。

4. おわりに

水理模型実験による検討により考案した固定式スクリーンによる流水型ダム放流設備の流木対策とその水理設計手法について紹介した。今回報告した手法が今後建設される流水型ダムの安全で合理的な設計の一助となれば幸いである。

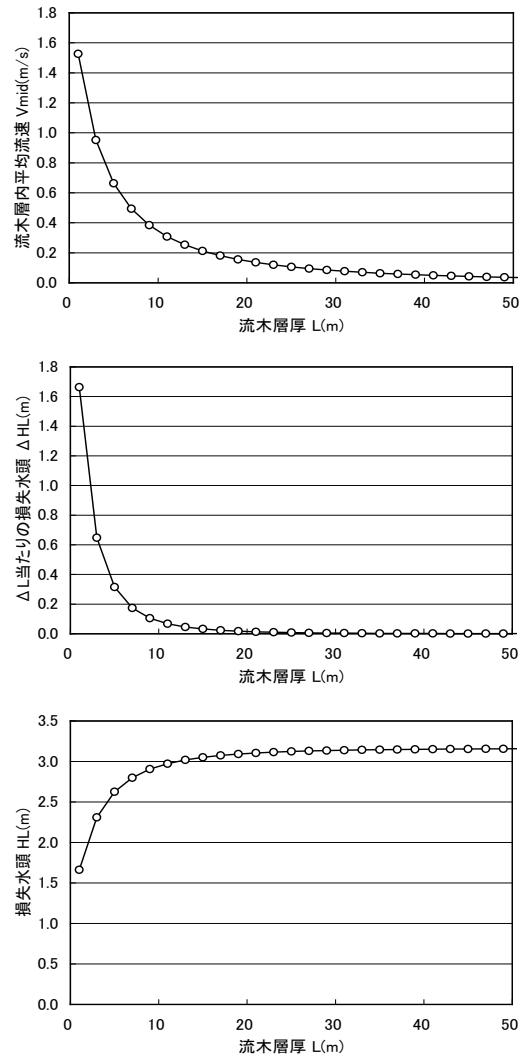


図-8 流木対策スクリーンの損失水頭算定結果

参考文献

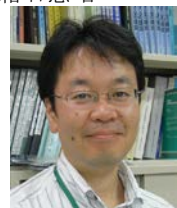
- 1) 社団法人 ダム・堰施設技術協会：ダム・堰施設技術基準（案）、p.554（スクリーン）、p.137（水位差）、1999
- 2) 櫻井寿之・柏井条介：治水専用ダム放流設備入口部の流木対策、水工学論文集、第50巻、pp.1261-1266、2006
- 3) 櫻井寿之・箱石憲昭・柏井条介：流水型ダム流木対策スクリーンの水理設計、ダム工学、Vol.19、No.17、pp.17-28、2009

櫻井寿之*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所水工研
究グループ河川・ダム水
理チーム 主任研究員
Toshiyuki SAKURAI

箱石憲昭**



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所水工研
究グループ河川・ダム水
理チーム 上席研究員
Noriaki HAKOISHI