

治水専用ダム放流設備入口部の流木対策

FLOATING LOG PREVENTION MEASURES AT INLETS FOR WATER RELEASE FACILITIES OF ONLY FLOOD CONTROL DAMS

櫻井 寿之¹・柏井 条介²
Toshiyuki SAKURAI, Josuke KASHIWAI

¹正会員 工修 独立行政法人土木研究所 主任研究員 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

²正会員 独立行政法人土木研究所 上席研究員 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6)

Recently, only flood control dams come to be spotlighted, because they have advantages in the viewpoints of sedimentation problem or environmental preservation. However, the usual type log boom is considerably difficult to install in only flood control dams. Then, floating log prevention measures at inlets for the dam is required. In this study, we developed the measure to maintain the discharge function of the water release facilities during flood while large amount of floating logs come to the dam by hydraulic model test.

As a result of the experiment, it was shown that there was a risk that the floating logs blocked the inlet when a water level changed with an accumulation of floating logs just upstream of the inlet. To deal with this problem, we proposed the measures using a fixed type screen. It was confirmed that the proposed measures was able to keep the discharge capacity of water release facility in spite of many floating logs flow down by physical model tests.

Key Words: Floating log, Only flood control dam, Water release facility, Screen, Hydraulic model study

1. はじめに

近年、水需要の停滞等により治水専用ダムが増加しつつある。また、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、放流設備を河床に近い標高に設置することで、常時には土砂を下流に流し、水棲生物も上下流への移動ができ、ダム上下流の河川環境をダム建設前に近い状態とすることが可能である。このように堆砂対策や環境保全における利点からも治水専用ダムが注目されつつある。

しかしながら、常時に貯水しない治水専用ダムの放流設備では流木による閉塞が懸念される。常時の貯水を行うダムでは、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。一方、治水専用ダムでは、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設置することは難しい。このため流下してきた流木の多くがダムまで到達することになり、これによって放流設備が閉塞される可能性がある。放流設備が閉塞された場合は、洪水の過剰な貯留により計画規模以下の流入量で洪水調節ができなくなる、或い

は、閉塞していた流木が何らかの要因で突然流下することによって、下流への放流量が急激に増大して下流域の安全を脅かすなどの問題を生じることになる。

常用洪水吐きの流木対策としては、これまで吐口部断面面積が2m×2m以下の小規模な場合に、流木等による閉塞を防ぐために呑口全体を覆うスクリーンが設置されている¹⁾。また、防災・砂防の分野では、流木による被害の機構^{2),3)}や砂防ダムによる流木の捕捉効果^{4),5)}に着目した研究が行われてきている。しかしながら、土砂を積極的に流下させる治水専用ダムの大規模な放流設備のための流木対策は確立されていないのが現状である。

そこで本研究では、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水理模型実験により検討を行った。なお、今回はゲートレスの自然調節方式の放流設備を対象としている。

2. 対象とする放流設備と流木

今回対象としたのは、現在計画されている治水専用のAダムの一面ベルマウスを有する部分管路型の放流設備であり、形状を図-1に示す。この形状の位置づけにつ

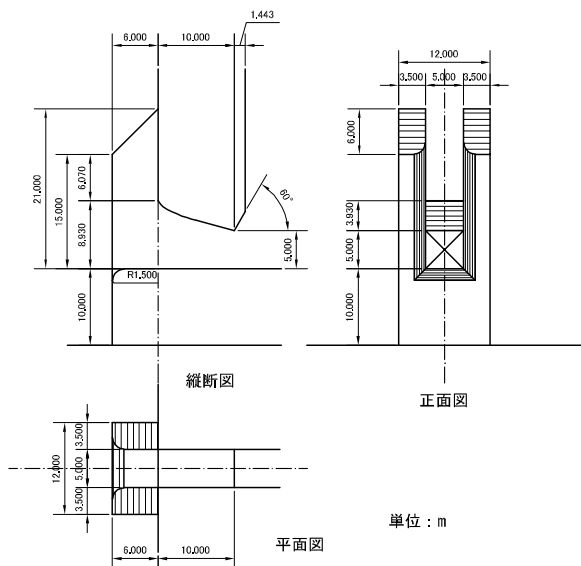


図-1 対象とする放流設備形状

表-1 流木模型の諸元

流木長 (B基準)	流木長		流木直径	
	原型値 (m)	模型値 (m)	原型値 (m)	模型値 (m)
0.3B	1.5	0.024	0.11	0.0018
0.5B	2.5	0.040		
1B	5.0	0.080		
1.5B	7.5	0.120	0.31	0.0050
2B	10.0	0.160		
3B	15.0	0.240		

B: 放流設備幅 (5.0m)

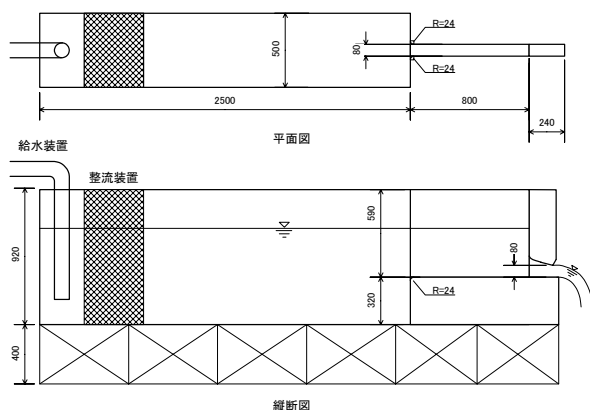


図-2 実験水路概要図

いては、一面ベルマウス形式は、四面ベルマウス形式と比較して呑口幅が小さく、開水路流と管路流の遷移が比較的安定していることから多く採用されている形式である。出口断面の大きさは必要な放流能力によって決められるが、幅としては、コンクリートダム の構造面の制約から、コンクリート継ぎ目間隔 (通常15m程度) の1/3以下とする必要があり、対象とした放流設備の幅5mは大規模なものである。なお、上流ピアの上面に勾配があるのは流木がピア上に堆積しないことを目的としたものである。用いる模型の縮尺は1/62.5とした。

対象とする流木としては、Aダムの流域の植生調査結果を参考に、平均的な値よりやや大きめの直径30cm程度を想定し、長さについては変化させて、表-1に示すような円柱形の模型を製作した。なお流木長0.3B (B: 放

表-2 一定流量の実験ケースおよび結果の一覧

ケース名	流量 (原型値) (m³/s)	H/D	流木長	実験結果 (流木の挙動)
1	180	開水路流	1B	全て流出
2			1.5B	全て流出
3			2B	全て流出
4			3B	全て流出
5			1B	全て流出
6			1.5B	全て流出
7	256	1.88	2B	呑口上流のピア内全域に滞留、 流木が底面に接触
8	310	2.50	1B	呑口上流のピア内の 下流一部領域に滞留
9			1.5B	呑口上流のピア内全域に滞留
10			2B	呑口上流のピア内全域に滞留、 流木が底面に接触
11			3B	呑口上流のピア内全域に滞留、 流木が底面に接触
12	400	3.75	1B	呑口上流のピア内全域に滞留
13			1.5B	呑口上流のピア内全域に滞留
14			2B	呑口上流のピア内全域に滞留
15			3B	呑口上流のピア内全域に滞留

H: 貯水位 (放流設備敷き高基準)

D: 放流設備出口高さ (5.0m)

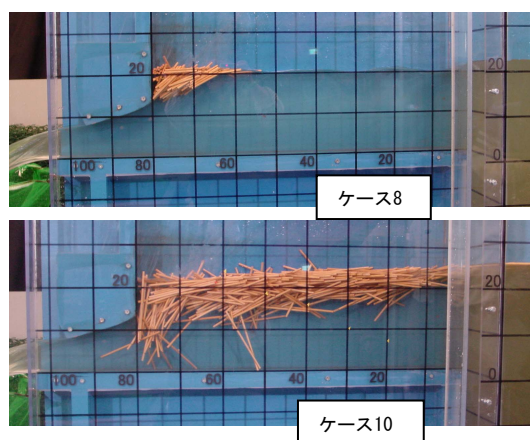


写真-1 一定流量の実験結果 (ピア内を横方向から撮影)

流設備幅) の模型は爪楊枝を切断して作成した。それ以外の流木模型はラミン材で作成し、密度変化防止のためにニス塗装した。塗装後の流木模型の平均的な密度は0.73g/cm³であった。

3. 放流設備上流を2次元水路とした場合の検討

最初の検討として、上流ピアを上流側へ伸ばすことにより流木の進入量を制御すること及びピア内を2次元水路として流木の基礎的な流下挙動を把握することを目的として実験を行った。用いた水理模型の概要図を図-2に示す。ピアの長さは2次元的な流れになるのに十分な長さとして出口断面幅の10倍とした。戸溝は流木閉塞の原因となるため無くしている。

(1) 一定流量の実験

始めに、一定流量の条件で流木が流下してくる場合の実験を行った。実験条件を表-2に示す。流木の投入方法は、流入流木量に関する情報が得られなかったため、本数による設定ではなく、常に放流設備上流1.5m程度

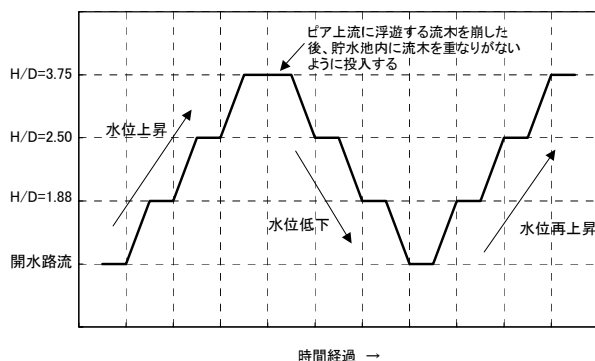


図-3 水位変化の概要図

表-3 水位変動の実験結果

流木長 実験の過程	1B	1.5B	2B	3B
H/D=3.75においてピア上流の流木の集積を崩した後の状況	呑口上流水面に流木が滞留	ピア水路水面全域に流木が滞留	ピア水路水面全域に流木が滞留	ピア水路水面全域に流木が滞留
水位低下後	流木は全て流下	流木は固まりとなって呑口を閉塞	流木が呑口上面と底面を支点に引っかかる	流木が呑口上面と底面を支点に引っかかる
水位再上昇後	流木は全て流下	流木は固まりとなって呑口を閉塞	流木が呑口上面と底面を支点に引っかかる	流木が呑口上面と底面を支点に引っかかる

(原型値で94m程度、水面の状況は穏やか)の水面に流木が存在する状況を保つように随時水槽の上流端付近から流木が水面で重なり合わない状態で投入した。ピア内への進入は流木の重なり具合などの偶然性が関与するため、最も進入する場合を想定して人為的に流入部の流木の重なりを崩す操作を行い、ピア内の流木の滞留が安定するまでこの操作を続けた後に状況の記録を行った。

実験結果の流木の挙動の概略を表-2に、流況の例を写真-1に示す。これより、開水路流ではピア内及び放流管内に流木が留まることはない。水位が上昇するとピア内に流入した流木が呑口上流の水面で滞留するようになり、ピア内の流れによって流木が引き込まれ絡み合っており、流木の層が厚くなり、流木長が長い場合には水路底面まで達する。

(2) 水位変動の実験

実際の出水では貯水位が大きく変動するため、水位変動を再現した実験を行った。ハイドログラフがピークを複数持つ波形になったり、短期間に出水が連続したりする場合も考えられるため、水位の上昇、下降、再上昇という水位変動を設定した。与えた水位変動の概要を図-3に示す。流木の投入方法は、初期条件として過去の出水により流木が堆積した状況を想定してピア上流の領域に高さ1B、延長5Bでランダムに流木を設置する。最初の水位上昇後に、ピア上流水面に滞留している流木を人為的に崩しピア内へ流木を流下させる。ピア内の流木の滞留状況が安定したところで、ピア上流の流木を重なりがない浮遊状態とした。これは予備実験において流木の重

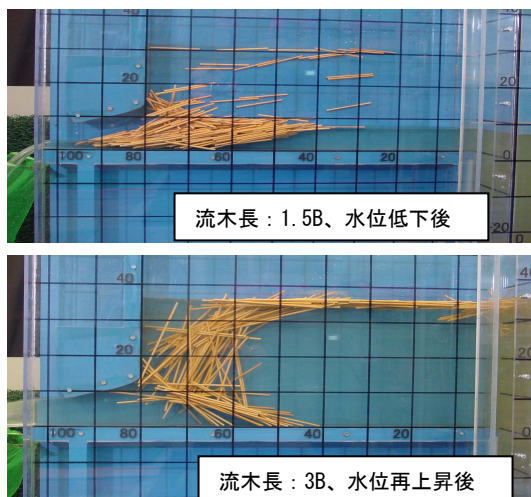


写真-2 水位変動の実験結果

なりがない状態で流木が最もピア内へ進入しやすいことを確認しており、危険側の条件を想定したものである。その後の実験過程でピア上流の流木が減る場合は流木を供給し常にピア上流に流木が浮遊している状態を保った。実験では流木長を変化させて、1B、1.5B、2B、3Bの4ケースについて実験を行った。

実験結果の流況を表-3に、流況の例を写真-2に示す。これより、流木長が1.5B以上の場合には、水位が高い状態でピア内に進入し滞留している流木が水位低下時に放流設備呑口を閉塞し、再度水位上昇しても閉塞された状態が継続することが確認された。この状況は、放流設備の放流能力に影響を与える可能性がある。ここで詳細は記さないが、2次元水路内部の呑口形状等を変化させて検討しても、これらの閉塞を防ぐことはできなかった。

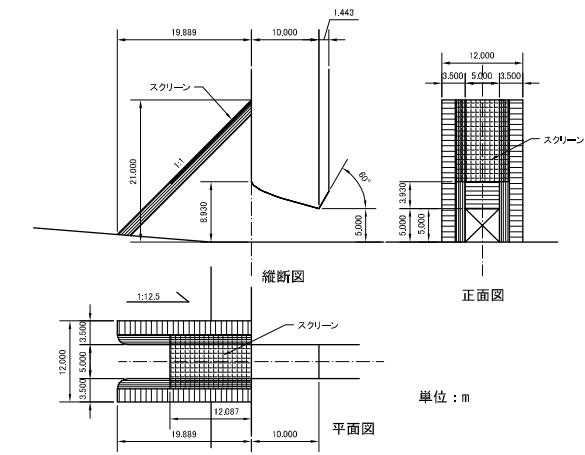
4. 対策の検討

(1) 基本形状の検討

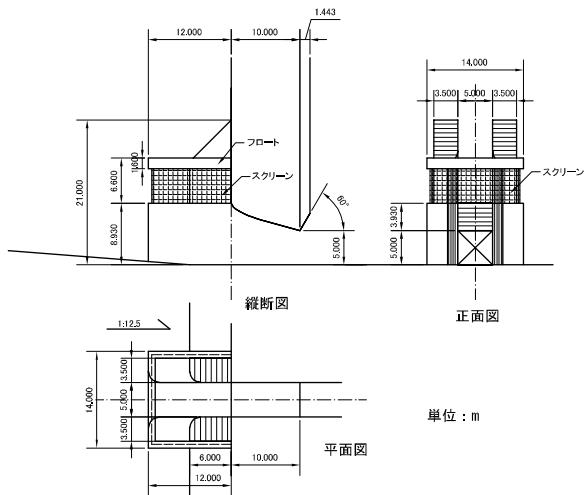
2. の実験結果より、呑口上流に流木が滞留した状態で水位変動が生じる場合に閉塞の危険性があることが確認された。そこで、流木を呑口上流に滞留させないための対策を検討することとした。

対策検討における方針は次の三つである。①開水路流となる水位以下では進入した流木は放流設備内で引っ掛かることはないため、維持管理の労力軽減を考慮し、これ以下の水位では、流木のピア内への進入を許容する。②放流設備の呑口より下流で流木が閉塞して放流能力に影響を与えないように管路流となる水位以上では、ピア内に流木が進入しないようにする。③その他の要因で放流能力に影響を与えないこと。これらの方針から図-4に示す3形状を考案した。

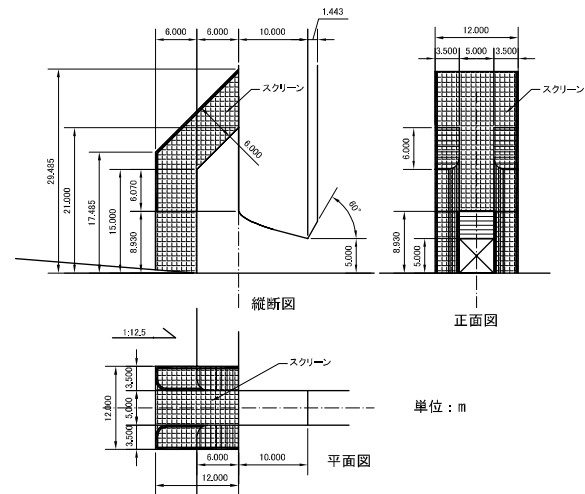
流木対策の効果を検討するために2. の検討結果をふまえて流木閉塞の可能性がある水位変動実験を行った。水位変化は、水位上昇・低下・再上昇とし、流木の投入



a) 形状 1 (傾斜形状ピア)



b) 形状 2 (フロート式スクリーン)



c) 形状 3 (固定式スクリーン)

図-4 流木対策形状

方法は、最も流木がピア内へ進入しやすい条件とするために、貯水池内に常に流木が重なることなく浮遊している状態を保つように水槽上流端付近より供給を行った。流木長は1.5B, 2B, 3Bの3ケースとした。実験に用いた水路は幅0.8mで図-2に示したものよりやや幅の広い水路を用いた。また、治水専用ダムでは完成後の早い段階で放流設備まで堆砂の肩が達すると考えられ、実験にお

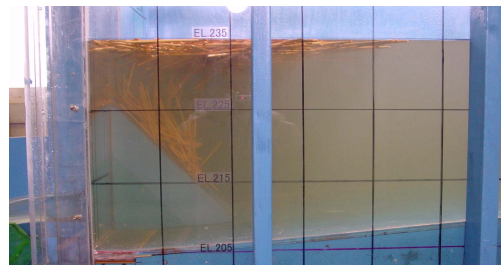
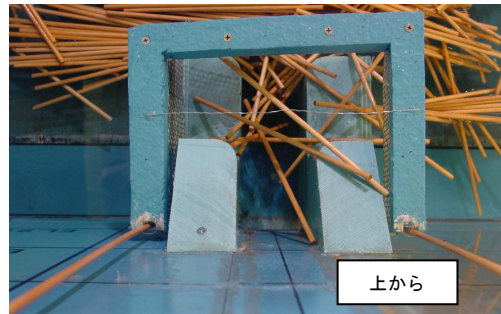


写真-3 形状 1 の実験結果 (水位上昇後)



正面から



上から

写真-4 形状 2 の実験結果

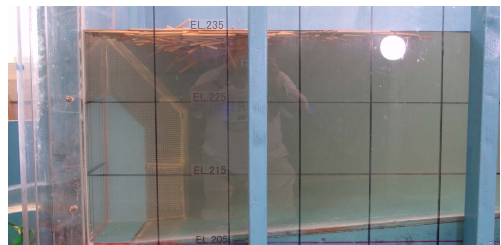


写真-5 形状 3 の実験結果 (水位上昇後)

いては堆砂がダム地点まで達した状況を想定して放流設備底面標高から勾配1:12.5の傾斜を設けた。

形状 1 はピアの上流側を底面まで傾斜させ、流木がピアに沿って上昇・下降しやすくすることをねらった形状である。管路流となる水位以上ではピア内に流木が進入しないようにスクリーンを設置した。水位変動実験を行ったところ、水位上昇するにつれて、流木が次々とピア前面に貼り付いていき、その後さらに水位が上昇しても剥がれなかった (写真-3)。この要因は底標高から順に流木が貼り付いていくことにより、水面付近では常に流速が早くなり流木が押し付けられる力が大きくなったためと考えられる。水位再上昇時にも同様な状況となり、流木長が変化してもほぼ同様な結果となった。

形状 2 はフロートの付いたスクリーンを、ピアを囲むように設置し、管路流となる水位以上では、水位変化に追従しながら流木がピア内へ進入するのを防ぐことを目

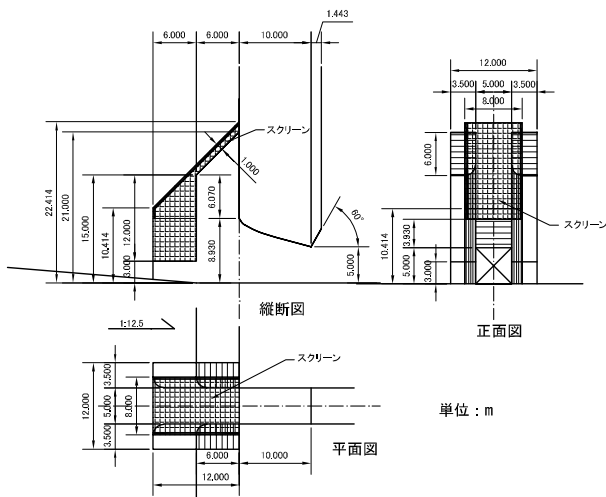


図-5 流木対策形状（固定式スクリーン改良後）

的とした形状である。開水路流となる水位以下でスクリーンをのせる土台の役割を兼ねるために、ピアを上流へ張り出した形状としている。水位変動実験を実施したところ、水位の上昇に追従してフロート付きスクリーンと流木が上昇した。ただし、フロート下方のピアの前面に流木が貼り付き、水位上昇後も数本の流木が固定された。実験を繰り返すと、貼り付いた流木がピア内へ張り出して固定される場合があり、スクリーン内へ流木が進入したり、スクリーンと張り出したピアの間に挟み込まれたりした（写真-4）。放流設備は出水時に確実に機能することが重要であり、動作が不安定となる要因を有するこの形状は不適当と判断した。

形状3は固定式スクリーンによって、管路流となる水位以上において流木をスクリーン内へ進入させないことを目的とした形状である。形状1の結果をふまえて、流木が貼り付きにくくするため、スクリーンの表面積を大きくして、スクリーンにおける流速を遅くすることをねらった。水位変動実験を行ったところ、流木はスクリーンの上流で水位の変化に追従し、水位上昇後はスクリーンに貼り付いている流木はほとんど無かった（写真-5）。また、スクリーン内に流木が進入する状況も見られなかった。よって、形状3は当初目的としていた条件を満たしている。

形状3のスクリーンはかなり大規模な構造となるため、経済性の観点から、規模の縮小が可能か検討を行った。試行錯誤的に水理模型によって形状検討を行った結果、図-5に示すような形状が得られた。この形状では、土砂の流下を考慮して放流設備底面標高から3mの高さまではコンクリート製のピアとした。また、高さ方向と幅方向にスクリーン規模の縮小を行った。水位変動実験では水位上昇後に数本の流木がスクリーンに貼り付く場合があったが、放流能力への影響は小さいと考えてこの形状を基本に次節の詳細な検討を行った。

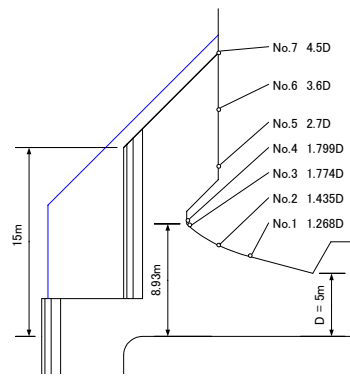


図-6 圧力測定位置

(2) 固定式スクリーンの検討

前節より固定式スクリーン形式が有効であることがわかった。そこで、内外水位差3m程度を想定してスクリーンの桁構造等を再現した模型を製作し流況の確認実験とスクリーンの設計に必要な内外水圧差の把握のために放流管内とダム上流面の圧力測定を行った。圧力の測定位置を図-6に示す。なお測点は放流設備の中心位置としており、マノメータによって測定を行った。流木の投入方法及び水位変動については、前節と同様の条件とした。投入する流木については、より実際と近い条件を想定して長さが0.5B～3Bまでの流木を同一本数混合し、小規模な流木による目詰まり等の影響を確認するために、長さ0.3Bの流木模型も数百本程度投入した。

さらに、流木の密度が大きい場合の条件を設定した。流木模型を水につけて水分を吸収させることにより、平均的な密度を 0.89g/cm^3 とした模型を用いた。密度については大きいほど浮力が小さくなりスクリーンへの貼り付きが顕著になると考えられる。ただし、密度が 1g/cm^3 以上となった場合は、流木は底面付近を流下すると考えられ、その場合は、ダム建設時の仮締め切り堤等を利用してスリット式砂防ダムの様な流木堰き止め構造物を設置することにより大量の流木がダムまで到達することを防ぐことができると考えられる。

水位変動実験を行った結果、流木密度が 0.73g/cm^3 の場合は、水位上昇後に数十本程度の流木がスクリーンに貼り付いた。貼り付いた流木は比較的長いものが多い。水位再上昇後も同様な状況であった（写真-6参照）。流木密度が 0.89g/cm^3 の場合は、 0.73g/cm^3 の場合より多く数百本程度の流木が貼り付く結果となった。ただし、スクリーン全体を完全に覆う状況には至らなかった（写真-6）。どちらの実験においても、スクリーン内の吞口上流まで進入して滞留する流木はなく、吞口下流の放流管内で流木が固定されることはなかった。

図-7にH/Dが4.5と9.0の場合について、流木がない場合とある場合の貯水位と圧力水頭の測定結果の差を原型値で示す。これより、ベルマウス付近より下流のNo.1～4の測点については、圧力水頭がかなり下がっている。全測点の傾向として流木が無い場合と流木密度 0.89

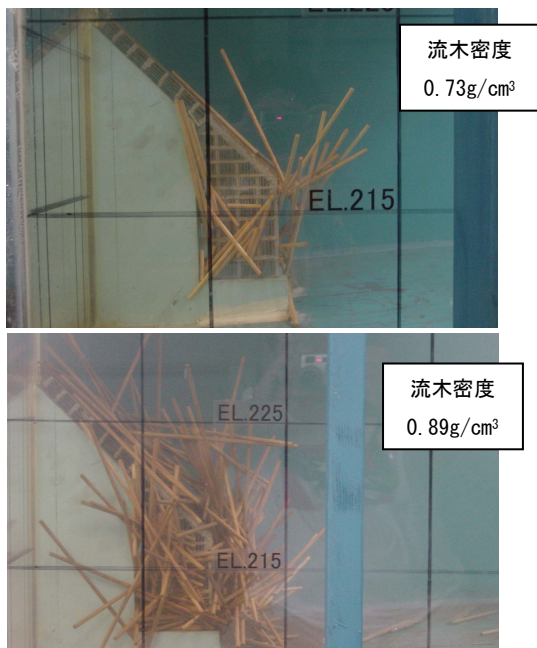


写真-6 固定式スクリーン形状の水位変動実験結果（水位再上昇後）

g/cm³の場合の差が大きい。ベルマウス付近のNo. 3とNo. 4の測点の差が大きくH/D=9.0の場合で、4m程度の差が生じている。流木の貼り付きによってベルマウス付近の流線が影響を受けているものと考えられる。一方、ピア内のダム堤体上流面のNo. 5～7については貯水位との差は小さく最大でも0.6m程度で、スクリーンの内外水位差は小さい。

図-8に水位変動実験の水位再上昇時のH/Dと流量係数の関係を示す。流量係数は次式より求めた。

$$Q = CBD\sqrt{2gH} \quad (1)$$

ここで、 Q ：流量、 C ：流量係数、 g ：重力加速度を表す。流量係数の値は流木の有り無しにかかわらずほぼ同様な値を示しており、流木のスクリーンへの貼り付きによる放流能力への影響は小さい。

以上より、図-5に示した固定式スクリーンにより、放流能力に影響を与えないで放流管を閉塞する可能性のあるピア内への流木の進入を防ぐことができることが確認された。

5. 結論

放流設備形状や流木の条件は限定されたものであるが、治水専用ダム放流設備の流木対策について、本研究により得られた知見を以下に示す。

- 1) 戸溝のない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、流木が吞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。

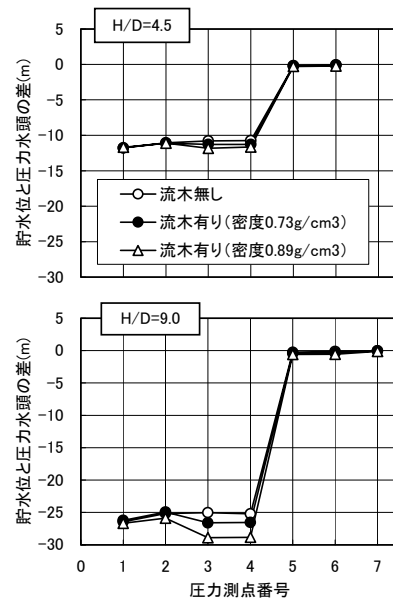


図-7 貯水位と圧力水頭の差

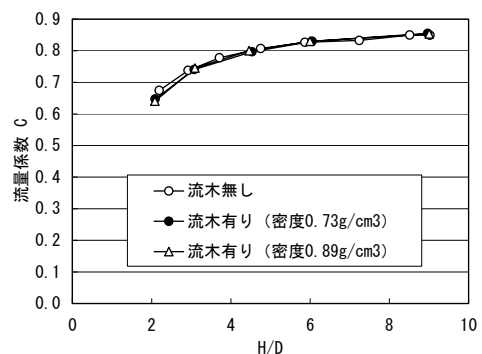


図-8 H/Dと流量係数Cの関係（水位再上昇時）

- 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) 今回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。

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, 1999
- 2) 中川一，高橋保，安達宏介：堤内地における流木群の挙動に関する研究，京都大学防災研究所年報，第34号，B-2，pp. 373-386, 1991
- 3) 藤田裕一郎，黒川悦彦：山間河道における流木の挙動に関する実験的考察，京都大学防災研究所年報，第36号，B-2，pp. 465-485, 1993
- 4) 水山高久，石川芳治，矢島重美：透過型砂防ダムによる流木捕捉効果，土木技術資料，30-11，pp. 623-628, 1988
- 5) 山田孝，土井康弘，南哲行，天田高白：不透過型砂防ダムの持つ流木捕捉能力，砂防学会誌，Vol. 52，No. 3，pp. 18-23, 1999

(2005. 09. 30受付)