

スリット式砂防堰堤における
減勢工および魚道について
－実験と実例に基づく成果－

日本大学理工学部土木工学科助教授

安田 陽一

こんにちは。今紹介にあずかりました日本大学の安田です。このように砂防の研究報告会にて講演ができますことを本当にうれしく思っております。感謝しております。

これから話す内容はここにも書いてありますように、「スリット砂防堰堤の減勢工と魚道について ―実験と事例に基づく成果―」ということで話を進めていきたいと思っております。魚道に関する研究については、それほど以前から研究をやっているわけではなくて、今から6年ほど前から研究を進めたものであります。研究のきっかけとなったのは、生物の先生と学会のシンポジウムで知り合ったのが一つのきっかけとなりました。長崎大学の生物の先生がシンポジウムで話されたのは、魚道というよりも甲殻類の生態行動の話題でした。話題の興味から現地に出向いて、河川横断構造物周辺の生態行動を見て私たちの研究が生き物に貢献できるのではないかなというような切り口から魚道の研究に着手したということになります。減勢工の研究については、私の上の先生であります大津岩夫先生から引き続いてやっております。

今日これから話す内容は大きく二つに分けて話をしたいと思います。

第1点目は実験に関する話です。具体的にはここに書きましたが、スリット化された砂防堰堤の減勢池の流況について紹介します。すなわち、不透過型砂防堰堤をスリット化したときの減勢池は不透過型砂防堰堤の減勢池で対応可能かどうかを紹介します。今現在、不透過型砂防堰堤をスリット化する場合、減勢池の設計においてスリット化した場合の具体的な指針はありません。基本的には不透過性の減勢池の設計をするということが通常だと思っています。次に、スリット化にあたって不透過型堰堤の減勢池を改善する必要があるときは、具体的にどうすればいいのかを紹介します。すなわち、改善された減勢池の長さについて。さらに、減勢池の水工設計のフローチャートの提案、具体的にスリット化された砂防堰堤の減勢池の設計をどのように行うのかを紹介させていただきたいと思っております。

第2点目は事例的な話です。先程言いましたように長崎大学の生物の先生、具体的には三矢先生ですが、今は退官されてしまいましたが、その先生と長崎県内のさまざまな事業でいろいろとお手伝いをさせていただくことがありまして、その一つに不透過型砂防堰堤をスリット化するという話があったなかで、具体的に減勢池および魚道の提案をさせて頂きましたので、その一つの成果を紹介したいと思います。

具体的にはここに書きましたように、不透過型砂防堰堤をスリット化するときの留意事項、それからスリット化する前とスリット化したあとの河床の変化、スリット砂防堰堤内に設置した魚道の紹介、魚道を遡上、降下する甲殻類の記録、そして 30 年確率の出水後の堰堤上流側の河床状況および生息環境について話を展開させていただきたいと思います。あくまでもここで話すのは事例的な話でありまして、これがすべてのところに適用できるという話ではないとはご注意ください。

それでは、先程言いました実験について話を進めたいと思います。これから話す内容は砂防堰堤の中央部をスリット化した場合、これが対象となります。複数スリットにする場合とか、さまざまなほかの場合もありますけれども、ここで示すのは中央部をスリット化した場合を示します。続きまして、水クッション型減勢工を有する砂防堰堤が対象です。砂防堰堤においては、さまざまですが、堰堤の下流側に必ずしも減勢池が設置されているとは限りません。この場合は減勢池を設けることを前提にした内容であります。まず今現在の考え方を見るということで、不透過型砂防堰堤のときの設計基準に基づいて減勢池の模型を作りまして、流況を検討しております。

水通しの袖の勾配は 1 対 1 としました。実験はフルードの相似則に従っております。これは記号の定義ということで示していますが、お手持ちの資料にも書いてあります。細かいことは省略しますが、堰堤模型の主要なところを話しますと、堰堤が本体からの流れを減勢池で受けます。これは減勢池を設けるための副ダムで、この高さは本体の約 4 分の 1 として設定されていますが、この場合 3 分の 1 から 4 分の 1 の高さで設定しております。副ダムから下流側でもプールが形成できるようにしてありまして、プールの下流側に位置する垂直壁の高さは副ダム高さの 4 分の 1 になるように設定しております。このスリット化された堰堤の副ダムの天端についてですが、天端のレベルはスリット底面と同じレベルにしてあります。

実験条件ですが、副ダムの高さがこのようにさまざま変わっているのは、スリット底面高をさまざま変えたから、同時に変わったためであります。それからスリット幅については、このように 4 系統くらい変えております。それからここに書いてある側壁勾配というのは、第 1 減勢池の側壁の勾配のことを意味してありまして、その勾配を 1 対 1、1 対 0.7、1 対 0.5 というかたちで 3 種類変えております。さらに副ダム上流面の傾斜角度について

ですが、通常は 90 度としますが、出水時に排砂能力を考えてみたときに、少し傾けた方が排砂能力が向上することが実験的にわかりましたので、ここでは傾斜角度を 90 度だけではなく、このように角度を変えて実験を行っております。

では具体的に流況の説明に入りますが、流況の支配因子はここに書いたとおりですが詳細はあとにしてどんな流況が形成されるのかについて示しますと、不透過型の減勢池で設計をした場合、条件によっては第 1 減勢池、第 2 減勢池ともに跳水現象が形成され、スリットからの流れを十分減衰する機能を持ちます。しかしながら、条件によってははじめの第 1 減勢池のところではスリットからの流れが副ダムに衝突し、跳水は形成されますが、第 2 の減勢池を射流で飛び越えて衝突してしまう。こういう流れが起きてしまうことがあります。また条件によってはこのように第 1 減勢池にも跳水が形成されずに射流の状態で越流してしまう。こういう現象が起きる可能性を見出すことができました。

流量規模で流況の移り変わりを示しますと、こちらが流量が小さいときに形成される流況であり、流量が大きくなると、こういう流況が形成される場合があるということです。特にこのような流況が形成される可能性があるのはような場合というのはこれはもうスリット幅とかをもう一度再検討する必要があるというふうになります。真ん中の流況というのは第 1 減勢池のところでは跳水現象が起きておりますので、改善して機能を高めるということは可能であると考えて、その検討もしまして、後ほど紹介したいと思います。

今紹介しました 3 種類の流況がいったいどういう条件で形成されるのかということを示した図がこれです。今ここに書いてある 9 種類の図というのは側壁の勾配と副ダム上流面の傾斜角度を変えた場合の組み合わせとなっています。パラメータとし、スリット底面高、この D というのは先ほどの第 1 減勢池の底面からスリット底面までの高さ、それからこの B と書いてあるのは水通し幅であり、D を B で無次元化した値を示しています。縦の一系列ごとに 3 種類に分かれているのですが、こちらに書いてあるのは、副ダムの上流面の傾斜角度が 90 度、すなわち垂直になっています。真ん中の列が傾斜角度、80 度で、いちばん右側が 70 度にした場合です。

この青い線について説明しますと、流量が大きくなってきますと、どんどん水通しの天端まで堰堤上流側の水位が上がってまいります。ちょうど堰堤の上流の水位が水通しの天端にたどり着いたときの条件をこの青い線が示しております。赤い線は何かといいますと、

第1減勢池と第2減勢池の両方で跳水が起きる。要するに従来どおりの減勢機能を有する条件の上限を示しており、この赤い線より下の部分で常に減勢池内で跳水が形成されるようになります。

図の中には赤い線よりも上の部分に緑の線がありますが、緑の線より上方の部分では第1減勢池で射流が形成されることを示します。この緑の線と赤い線の間、および青いラインと赤いラインの間では、第1減勢池内で跳水は起きるものの第2減勢池のところでは射流で乗り越えてしまう流況が形成される領域を示します。なお、対象としたスリット砂防堰堤において、スリット部を全てふさいで上から水が越流する状況で観察しますと、本実験条件では、減勢池内で跳水が常に形成されるようになります。なお減勢池の長さは堰堤の本体の高さに越流水深を足した値の約1.5倍として設定しています。

この縦軸は水通し幅で代表する限界水深を水通し幅で割った値で示しています。減勢長さを定めたときに用いた越流水深から限界水深と水通し幅との比を換算しますとその比の値は、約0.2近くになります。そうすると、ご覧のとおり赤い線よりも上に位置する場合もあるということがわかります。なお、この横軸はスリットの幅と水通し幅との比を表します。従来の不透過型の減勢池と同様に設計しますと、流量は小さいときには第1減勢池、第2減勢池ともに跳水が起きるんですが、流量が大きくなってくると第1減勢池では跳水は形成されますが第2減勢池では射流の状態で砂流で飛び越えてしまうことになります。

次のこれらの図を縦方向に見ていきますと、いちばん上に書いてあるのは側壁の勾配が1対1です。真ん中に書いてあるのが1対0.7で下に書いてあるのが1対0.5です。下に行くに従ってだんだん側壁が立っているという状況です。側壁の勾配を変えていきますと、緑の線の存在がなくなっていきます。これは側壁勾配が立ってきますと副ダムの上流面にぶつかる面積が大きくなりまして、跳水が起りやすくなっているためであることが推定されます。

側壁の勾配を1対1の勾配にしたときには第1減勢池も2減勢池も射流で乗り越えてしまう流況が形成される可能性があります。ところが側壁勾配を1対0.5にしていきますと、このような射流で流下するという流況は形成されにくくなります。

第1減勢池、第2減勢池ともに跳水が起きるときの条件というのはいろいろと条件を変えてもそれほど大きく変わってはおりませんが、その他の第2減勢池で射流で乗り越える

ときの形成領域、射流の状態で減勢池を乗り越えるときの形成領域というのは、側壁勾配や副ダム上流側の傾斜角度によって変わってくるということが実験によってわかりました。

次は減勢長についてですが、本体と副ダムの間の減勢長は従来どおりの定め方を変えておりません。本体の高さと越流水深との和の 1.2 倍～1.5 倍の長さまでとして定めますが、この場合には本体の高さと越流水深の和の 1.5 倍の長さとして定めています。ここで変えているのは、第 2 減勢池の長さです。すなわち第 1 減勢池で跳水が起きて第 2 減勢池で射流で乗り越えた場合、第 2 減勢池下流端の垂直壁の位置を下流に移動して第 2 減勢池内で跳水が形成されるように調整し、減勢長としてどのくらい長さが必要かという検討を主にしております。

このように検討した結果、第 2 減勢池の長さについてこの図に示されますように、実験結果をうまく整理することができましたので、それぞれ実験式を提案することができました。ここに 2 つに分かれている図は、スリット底面高さによって図を分けたためであります。長さの支配因子としてスリット幅と水通し幅の比、スリット底面高、さらに副ダムの高さや垂直壁の高さの割合というものが含まれています。

続きまして、スリット堰堤の直上流側の水深について説明します。スリット堰堤において堰上げがどこまで起きるのか示したものであります。講演が始まる少し前に 1 枚紙の訂正版として資料を配らせていただいたんですが、事前にお配りした資料と式とグラフが若干異なっております。グラフを整理してもう少し物理的な意味を考慮して、提示し直しております。

堰堤の直上流の水深というのは何によって定まるかといいますと、スリットの底面高さ D 、堰堤本体の全体の幅、 T と書いてあるんですが、それから流量規模を表す限界水深 d_c 、この限界水深はスリット幅を基準としたものであります。これらの物理量によって堰堤直上流の水深が決まっています。なお、スリットから越水しなくなったときというのは、ちょうどスリットの底部の位置と堰堤直上流側の水位が一致します。また、スリット底面高がある程度大きくなってきますと、スリット底部の位置より水面までの深さはスリット底面高によらないようになってきます。細かいところは省きますが、これらのことを考慮して式化されております。実験式の適用範囲が示されておりますが、適用範囲を超えての拡張も十分対応ができることも確認しております。

このようにスリット化された堰堤の減勢池を不透過型砂防堰堤と同様な減勢池で設計をしますと、条件によっては跳水が起きる場合もありますけれども、ときには跳水が起きない場合もあります。このような場合は第2減勢池の長さを変更する必要があります。また、スリット化された堰堤の直上流の水位がどこまで上がってくるのか、すなわち堰上げがどこまで発生するのかということを予測する必要があります。そこで、減勢池での流況、減勢池の減勢、および堰上げの影響を予測するためのフローチャートを、このように書かせていただきました。

流量、堰堤の高さ、スリット底面高、スリット幅、水通し幅、堰堤幅、側壁勾配副ダムの上流面の傾斜角度、こういうものを設計条件のなかで設定して、あと第2減勢池の側壁、水通しのそでの勾配というものを設定することによって、第1減勢池の減勢長、副ダムの高さ、および垂直壁の高さというものが設定されます。

また、堰堤直上法則の水位がどこまで上がるかということが推定できます。同時に減勢池内で形成される流況が予測できます。条件によっては第1減勢池では跳水が形成されるけれど第2減勢池では跳水が形成されない場合が想定されます。そういう場合には第2減勢池の長さを補正して減勢長を設定し直します。第1、第2減勢池ともに跳水が形成されると判断できた場合には従来どおり不透過型堰堤と同じ様な減勢池の設計でいいということになります。なお、減勢池において射流で流れてしまうと予測された場合には、もう一度条件設定をし直す必要があります。

続きまして、事例的な話に移りたいと思います。先程言いましたように、長崎県で不透過型砂防堰堤をスリット化するという事業にアドバイスをする機会がありまして、そのときの事例について紹介したいと思っております。この砂防堰堤は東シナ海に面したところに位置する砂防堰堤で、これが東シナ海でこの部分が大瀬戸町という所であり、対象となった砂防堰堤はここに位置します。なお、長崎市内はこちらのほうです。ここが大村湾、ここよりもう少し上の方が西海市になるんですが、この部分に雪浦川という川がありまして、この支川に小田川、河通川があります。対象としている砂防堰堤はこの小田川に位置します。この堰堤より上流の流域は約3.4平方キロメートルであります。

これがスリット化する前の状況でありまして、この状況からスリット化し、これがその改善後の状況です。この不透過型堰堤がスリット化されるときに事業の目的ですが、こ

こ周辺の斜面というのは非常に崩壊しやすく、斜面崩壊して土石流が発生した際に現況のこの堰堤では十分対応ができないためかさ上げが必要とされておりました。そこで一つの目的は堰堤のかさが挙げられます。この堰堤が設けられる前の段階では甲殻類などがこの堰堤より上流側でもかなり棲息しておりました。この点を考慮して、堰堤より上流側においても棲息環境後元にするという目的から行われました。土砂の供給も従来そのままですと、細かい土砂がほとんどここでストップしてしまいます。そのため下流側のほうには細かい土砂がほとんど流れていないという現状からも、スリット化の必要性が示されていきました。

これがそのスリット堰堤の平面図です。川がかなり蛇行しているところにスリット堰堤がつくられております。この場合、水理実験しまして先ほどの結果にもつながりますが、この堰堤の設計条件から第1減勢池で跳水が形成されるようになり、この場合、第1減勢池の下流側では第2の減勢池は設けておりません。と言いますのは、堰堤より下流側のほうに行くと河道が急に狭くなってしまいます。その結果、流量が大きいとバックウォーターの影響によって、第2の減勢池を設けなくても減勢機能は維持されるようになっています。

魚道については、スリットの中、それから副ダムの脇にこのように魚道が設けられています。なお、この副ダムの高さは約3メートル60くらいあってけっこう高い副ダムになっています。不透過型のときの上流側ではどうなっているかといいますと、ご覧のとおり、細かい砂礫がかなり堆積しております。これは知るとではありません。この堰堤では満砂状態になっていません。不透過型のときの堰堤の天端より約3メートルから4メートル下のところに河床が位置しております。

堰堤より上流側のほとんどのところでは土伏流水となって水が流れておりまして、表面流は起きていません。この写真はそれよりも上流のところですが、ほとんど水が枯れている状況です。この写真はスリット化したあとの状況を写したものです。スリット化する場合、河床勾配を変化させてしまいますと、今までに造られた安定した河床が崩れて過剰な土砂供給が発生するなどの危険が生じてしまい、ここでは、堰堤によって形成された河床勾配が維持できるようにスリット底面高さを決めております。

この堰堤は、土石流対策でつくられた堰堤ではありますが、流域からの出水量に配慮し

て、この場合、スリット幅を約2メートルとして定めています。このように定めた結果、伏流水になるまで堆積した土砂が下流側に排出され、いくたびの出水によって、それもそんなに長い年月をかけたわけではなくて、このようにプールが形成され、魚の棲息が認められたりして良好な環境ができたわけです。なおこの写真は実際スリット化して約1年半後の写真であります。

堰堤より上流側で魚が確認できたのは魚道設置によるものであります。スリットの中の魚道、それからこれが副ダムの下流側につけた魚道、これが減勢池のなかにある魚道であります。通常、砂防堰堤に魚道をつけますと、当然土砂が流れてくるのは当たり前ですので、その土砂が流れたことによって魚道のなかに土砂が溜まるのではないかということをいちばん気にされると思いますが、この場合には土砂は全く溜まりません。今現在においても土砂は溜まっておりません。後ほど説明いたしますが、以前30年に一度くらいの洪水規模の出水がありまして、それは2年前ですが、その出水があったときでもこの魚道の中には土砂はまったく溜まっておりません。魚道の構造をうまく改良することによって土砂の排砂機能を高めることが十分できます。

この場合の特徴はまず魚道のプールの水深が浅いんです。約30センチくらいのプール深さになっております。また、川自身がそれほど大きな川ではありませんが、島部にある川と同様でありまして、雨が降ると相当な水量が短時間に発生しますが普段のときは水量が非常に少なくなります。この場合、水量が少ないとき、ある程度水量が増えたとき、それから出水のとき、いろいろな流量に対して検討する必要があります。特に普段の場合ですと、魚、甲殻類、およびハゼが遡上、降河できるように、流量を確保したりして工夫が必要です。この場合には、魚道の隔壁の片側のほうに切欠けを設け、特に水量が少なくなったときにはここを流れるようにしております。ある程度水量が多くなったら全面的に流れるようなかっこうになっております。

甲殻類、エビ、カニ、それからハゼというものが水際に沿って歩いたり這ったりしますので、それらが遡上、降河しやすいように、すなわち上ったり降りたりしやすいように、水際側のところが鉛直ではなくて傾けております。さらに、斜面の面が滑らかではなくて粗く仕上げております。粗く仕上げることによって、たとえばカニとかエビですと爪をひっかけて上り降りしやすい構造になっております。

さらにこの魚道には水際が台形断面になっていることによって、写真ではちょっとなかなか見えづらいんですが、特に全面的に水が越水したときは中央部の流れは速くなりますが、側壁近くの流れは側壁が傾いているだけあって、かなり緩んでまいります。スリットの中もこの副ダムの下流側の魚道と同じ構造になっているのですが、片側は 45 度の斜面を持った台形断面の魚道になっております。この場合、私にとってははじめに手がけたものですので幅 2 メートルに対して片側が鉛直で片側が斜面を呈しておりますが、結果としては両斜面にしてもよかったと思います。

減勢池の中にはあまり長い魚道をつくるわけに当然いきませんので、このスリットの出口のところに 45 度の傾斜角度を持った魚道をつくりました。なお魚道上流端の落差がだいたい約 30 センチ未満となっておりますので、特に水の量が多いときには水位がさらに上がってきますが、魚が容易に遡上できるようになります。通常ときには水位が下がっているときでも甲殻類やハゼにとって遡上、降河できる環境になっております。

砂防堰堤されたこれらの魚道にちゃんと上っているかどうかを調べるためにこのようなビデオカメラを上流側に設置しまして、特に甲殻類を中心に遡上記録を取る目的で夜間撮影のときには赤外線ライトで観測できるようにこのように設定しました。また、このように水際側にスケールをはって後ほど体長が記録できるようにしております。これがその 1 例の写真です。

遡上の記録と同時に水量、気温、水温、照度というものを同時に測りまして、遡上結果との対応を見ております。実際にビデオカメラ、それからその調査をしているときに、モニターを通して遡上している状況をカウントしております。だいたい夜の 6 時から次の翌日の朝 8 時で調査を行いました。この赤い帯状に示しているものがヌマエビの遡上数です。青いう帯状で示しているものがテナガエビの遡上数です。これが副ダムに設置された魚道の左岸側で遡上した数を示してあります。

同じように右岸側、それからスリットの中での遡上数をそれぞれ調べております。これから見ると、場所によって遡上している数が違うということもわかると思います。特に副ダムの左岸と右岸で比較すると、右岸のほうが少なく左岸のほうで多いというのは、魚道の片側に切欠を設けたことによる違いです。右岸側に切欠欠乏を設けているのですが、この場合、水の量が多くなりますと越流山脈が乱れやすくなり、小さいエビにとっては左

岸側に比べて上りづらいわけです。このことから、左岸側では少ない水量となるため、多くの稚エビが遡上し、結果的には右岸側より多かった結果が示されております。

遡上したエビがどのくらいの大きさのものが上っているかというのを調べましたところ、エビの体長が約1センチに満たないエビが相当上っていたということが、ヌマエビの場合ですが、わかりました。また1センチから2.4センチくらいの体長のエビが半分以上を占めております。このようにしてどのくらいの体長のものが上ったかというのを調べたわけですが、これは何の意味があるかというと、この魚道の設置されたところは河口から約1.5キロ上流に位置するところですが、海で幼生から稚エビに変体したばかりものが、川に向かって遡上してきます。その稚エビが魚道と遡上できていることを確認することになります。

説明不足でありましたけれども、エビの種類によっては川で世代交代できるものもいますし、なかには川から幼生が降りていって海で幼生が稚エビに変体し、その稚エビがまた川に戻るという通し回遊性のエビがいます。特に長崎県では通し回遊性のエビが多く棲息しますので、その種のエビが確実に上がれるかどうかということがきわめて重要なポイントであります。同時にテナガエビについても、記録で同様な遡上調査記録が得られており遡上できていることを確認しました。ヌマエビおよびテナガエビを合わせて、夕方6時から翌日の朝8時にかけて約4000尾くらいのエビが遡上したということを確認しました。

次に話を進めると、先ほど言いましたように、2年前に30年に一度降るか降らないかくらいの洪水規模の雨がありました。これは堰堤直上流側の河床の変化を示したものです。いちばん左側で示しているのはスリット化する前の段階です。真ん中の写真がスリット化して1年半くらい経過したときのもので、これはそのあと翌年に大きな出水がありましてこの部分がこんなふうに土砂をストップすることができたところを示した写真です。これがその堰堤の直上の状況ですが、人のスケールから見てほしい2メートル近くの土砂が堆積していることがわかるかと思います。

これは、出水後、堰堤の上流側の河床がどのように経緯変化したのかを追っていったものです。具体的には2003年から2005年1月までです。これから見ると、土砂が少しずつ下流側に供給されているということがわかります。特に年が経過するにあたって堰堤の直上流側では細かい砂礫が現れているということがわかりました。また堆積した山が年を経

ることによって、だんだん堆積した山の高さが下がったということもほかの記録から理解できます。

これは堰堤より 150 メートル上のほうに位置したところですが、出水が起きたばかりのときには表面流がこのように残されております。この状態から 2005 年 1 月までかけて見てみますと、たまたまこのときには水量が少なくほとんど水が流れていない状況になっておりますが、河床の状況としては 2003 年以来から大きく変化はしておりません。これはそれよりさらに上のところですが、この場合もこの大礫の位置関係などを見てみますと、それほど大きな移動はない状態です。水の量は雨が降った直後に調査したとか、日照が続いた場合などに調査したかの違いによって生じたものであります。

特にこの川の場合には不透過型をスリット化したところから 2 キロから 3 キロ上流側のところにもう 1 基、不透過型の堰堤があります。その下流側のほうをスリットにして河床の状況を見ているわけですが、どんどん細かい砂礫が下流側のほうに移動してしまい粗粒化が起きる可能性があります。この場合にもそのことが該当してくるのかどうかということとは今後の調査によります。また、堰堤の上流側にたまっている細かい砂礫がどのように下流側に運ばれていくか、砂礫の移動が今後の河床の安定にどのようにつながっていくのかについて、今後検討させていただいているところであります。

これはついこの間の 9 月 6 日の台風 14 号が経過したときですが、幸いにも長崎県の場合にはあまり大きな被害はない状態ですが、雨が降りまして先ほどほとんど水が流れていなかったところですが、このようにけっこう水が流れている様子が認められます。

これは不透過型のときの河床コンター図を示したものです。次のスライドがスリット化された後のコンター図であり、しかも大きな出水があった翌年の秋口に行ったコンター図であります。これから見てわかりますように、それほど大きな差はありません。これがスリット化する前の段階です。スリット化したことによって河床勾配が大きく変わったかという、これは縦断勾配ですが、赤いラインがスリット化したあと調査したものです。緑のラインがスリット化する前の河床コンターです。多少の凹凸の違いはありますが大きく見ると、特に堰堤より上流側の部分を見てみると、多少下がっているのですがほとんど変わっていません。なお 30 年確率の洪水があったときには、堰上げはどこまで起きたかといえますと、ここまで起きています。

30 年確率の洪水が起きたときというのはかなりの土砂がスリットを通して流れたのですが、通常そうなりますと減勢池の中に土砂が相当溜まるということが容易に想像できるのですが、この場合どうだったかといいますと、第 1 減勢池のなかの土砂をすべて算定しましたところ、全部の空間堆積は約 405 立方メートルあるんですが、土砂の堆積は 81 立方メートルくらいで、約 20% ぐらいしか土砂が溜まっていません。これはなぜかといいますと、スリットからの流れが副ダムのほうに十分減衰する前に衝突しますので、出水時に強い渦が水深規模で起きております。このことによって、流れてきた土砂が攪拌されるようなかたちになりまして、排砂機能を高めています。結局のところ、土砂が供給されても、減勢池内で強い渦の形成がないと排砂する機能は損なわれてしまうのです。この場合はスリット化の流れが減勢池のところで強い渦が形成されます。その結果、排砂がずいぶん進んだのではないかと考えております。

残りの時間を使ってビデオで堰堤に設置された魚道について紹介したいと思います。

(ビデオ)

まず側壁を斜面にしたことによってどのくらいメリットがあるか、この点から紹介してみたいと思いますが、エビが斜面に沿って歩いている様子がわかると思います。エビは基本的に肺呼吸ではなくてえら呼吸ですので、水中から出るのは非常に苦しい状態であるんですが、この場合、甲羅の中に水を蓄えることができまして、ある時間内であればこのように水面から出て歩くことができます。

エビには触角がついておりまして、触角を水際側のほうに当てることで流れが速いと彼らは水中に潜りません。ある程度触角が前に下りるような段階で彼らは突入しています。水理学的な言い方をすると、限界流近くで入っています。こんなふうにしてエビが水際側を遡上している、こういう状況です。こんな感じで向きを変えて水路の水際のここらへんを遡上しているという状況です。

次に砂防堰堤のほうですが、これが減勢池です。これが副ダムにつけた魚道であります。これが堰堤より上の状況で、かなりスリット化したことによって川の環境が改善されたことが分かると思います。なお、このビデオは、スリット化した 2 年後に記録したものです。減勢池のなかであります、減勢池の中にも魚道を通して、魚、甲殻類が上がって、このへんに棲息しているということが確認できています。

これは夜ですけれども、これは副ダムに設置された魚道の下流側の斜面で撮影したものでありまして、こんなふうにして側壁を一生懸命歩いている様子が確認できます。かなり大きく拡大して写しているのでもっとスケールがわかりづらいかと思いますが、これは水際ですからこのように台形の断面にすることで水際の流れが強くありませんので、こういう小さいエビ、これはちなみに1センチもありません。そういうものが容易に遡上しているということが確認できました。

この撮影時期には遡上するものばかりでなく、降河するものもいるようで、これはモクズカニが産卵するために下りるところであります。こんなふうには水際側を沿って降下しているということも確認できます。これはテナガエビが遡上している状況です。これが1センチのスケールですので、体長が6センチから7センチくらいのものが遡上しています。

次ですが、見えにくいかもしれませんが、小さいものが動いているのですが見えますでしょうか。これは、その年に生まれたばかりのエビです。約6ミリから7ミリくらいの体長を有するもので、この水際側の流れに振り落とされることなく上っています。

これは出水後のときの記録を収めたものであります。堰堤より上の部分が先ほどと急に状況が変わりまして、かなり大きな土砂が堆砂してしまっています。このように土砂が堆砂したにもかかわらず、棲息環境が残されているかどうか大きな関心事の一つであるわけですが、それを次の映像で示したいと思います。

堰堤の法側で土砂が堆積され伏流水になっているかということ、この映像からも判りますようにそうではなくて、堰堤の直上流だけは伏流水になっていますけれども、それ以外では表面流が確保されていたので一安心した部分もあります。時間の都合でこの部分は省きますが、これは出水後の減勢池のなかです。ご覧のとおり、土砂がたまっているのですけれども、先ほど示したように堆積量は多くありません。この礫は堰堤より上から移動してきたのではなくて、堰堤のすぐ下流側ある魚道の脇に空積みしていた巨礫が流れたものです。こえは今改善されていて、ここにはありません。

これはスリットの中ですけれども、このようにスリット内の魚道において土砂はほとんど溜まっておりません。そういうことが確認できております。このようにかなり大きな大出水があつたにもかかわらず、魚道の構造をうまく工夫すれば、魚道の管理が容易になることが確認できました。

映像のほうはまだ動いていますが、実際に砂防堰堤の減勢池および魚道の整備事業などに携わらせていただいてわかったことは、スリット砂防堰堤にすることによって、不透過型の場合と違って減勢池内で、特に出水のときに水深規模の強い渦が発生できるので、排砂機能が不透過型よりもかなり期待できることが確かめられました。なお、設計条件を考慮せずスリット化された堰堤の減勢池を不透過型の減勢池と同様に設計をしてしまいますと、条件によって射流で乗り越える危険な流れが起きるので、設計条件に留意して減勢池設計をしなければいけません。

砂防堰堤に設置する魚道については、やはり土砂が堆積しないものをつくる必要があります。プールは比較的浅いものにし、魚道の側壁を傾けることによって中央は強い流れが起きても、側壁の近くでは緩い流れが確保できたりします。このことによって、ハゼ、エビ、カニ、および小型の魚などの遡上にも寄与することができます。このように工夫次第では砂防堰堤に設ける魚道において、それほど管理が要らないものができるということの一つ知っていただければありがたいと思っております。以上です。どうもありがとうございました。