

令和元年度

河川研究セミナー講演録

〈統一テーマ〉

河川の実力を読む技術



公益財団法人

河川財団

令和元年度

河川研究セミナー講演録

<統一テーマ>

河川の実力を読む技術

公益財団法人 河川財団
河川総合研究所

はじめに

令和のはじめとなる今年の河川研究セミナーでは、「河川の実力を読む技術」を統一テーマとして取り上げました。ここで言う河川の実力とは、洪水時に河川、特に堤防がどこまで頑張れるか?を指し、「实力を読む」とは、堤防が機能を失い始める洪水規模を平常時の当該河川および堤防等の状態から定量的に評価することを指します。

この「河川の実力を読む技術」の現状と展望に関する知見を河川技術者の間で共有することを目的に、国土交通省国土技術政策総合研究所及び独立行政法人土木研究所から4名の講師をお招きし、三回にわたりセミナーを開催しました。

「河川の実力を読む」ことは、河川の維持管理を支える根幹的技術の一つです。しかし、自然を原型とする河川の挙動は複雑であり、「实力を読む」ことは容易とは言えません。それでも、調査研究や実務での検討の積み重ねから、その道筋は着実に見えるようになってきています。

本セミナーでは、講師の皆さんから、豊富で具体的な技術知見とともに、ご自身のお考えを示していただき、さらに質疑を通じて大事なポイントをいただきました。本講演録は、これらを丸ごと収めたものです。

図面も多く、少々大部な講演録ですが、河川の維持管理を基本から見据える上で貴重な技術文献となっておりますので、実務に携わる皆様にご活用いただければ幸いです。

令和2年3月

公益財団法人 河川財団

河川総合研究所

目 次

司会 公益財団法人 河川財団 戦略的維持管理研究所 所長 田中敬也

第1回

本セミナーのねらい

本編 図面集
ページ ページ

藤田光一（公益財団法人 河川財団 河川総合研究所 所長） 3 5

堤防点検の実態と課題

山本嘉昭（公益財団法人 河川財団 河川総合研究所 上席研究員） 8 11

水位情報から読み解く河道の状態～河床洗掘への対応を中心として～

福島雅紀（国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室 室長） 11 21

新しい洪水予測手法：水害リスクライン

土屋修一（国土技術政策総合研究所 河川研究部 水循環研究室 主任研究官） 19 41

<質疑応答> 24

第2回

前回のセミナー内容について

司会 公益財団法人 河川財団 戦略的維持管理研究所 所長 田中敬也 33 61

構造物の変状・被災はどのように起こったのか

諏訪義雄（国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川構造物管理研究官） 35 67

<質疑応答> 59

第3回

1. 開会 69
2. 本セミナーのねらいを改めて説明 69 165
3. 本セミナーの進行の仕方 74 171
4. 福島雅紀氏による第1回セミナー講演の要点の提示 74 172
5. 諏訪義雄氏による第2回セミナー講演の要点の提示 77 173
6. ディスカッション・パートーその1 82
7. 佐々木哲也氏によるショートレクチャー 88 175
8. ディスカッション・パートーその2 93
9. ディスカッション・パートーその3 101
10. 閉会：関 克己 理事長による挨拶 104

令和元年度

第1回 河川研究セミナー

本セミナーのねらい

藤田光一（公益財団法人 河川財団 河川総合研究所 所長）

堤防点検の実態と課題

山本嘉昭（公益財団法人 河川財団 河川総合研究所 上席研究員）

水位情報から読み解く河道の状態～河床洗掘への対応を中心として～

福島雅紀（国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室 室長）

新しい洪水予測手法：水害リスクライン

土屋修一（国土技術政策総合研究所 河川研究部 水循環研究室 主任研究官）

開催日：令和元年7月29日（月）

場 所：AP 秋葉原

本セミナーのねらい

公益財団法人 河川財団 河川総合研究所 所長 藤田 光一

<開 会>

司会 それでは、定刻になりましたので、ただいまから令和元年度第1回河川研究セミナーを開催させていただきます。

本日、進行を務めさせていただきます、河川財団の戦略的維持管理研究所長の田中でございます。どうぞよろしくお願いいたします。

本研究セミナーは、毎年、主に行政、研究機関、民間企業の方々を対象に実施しております。今年度は、テーマを「河川の実力を読む技術 ～河川の維持管理を原点からみつめる～」と設定しまして、3回のセミナーを実施いたします。本セミナーの狙いにつきましては、この後、当財団の河川総合研究所長 藤田よりご説明いたします。

講演に先立ちまして、会場の皆さまにお願いがございます。本日、講師が用います資料につきまして、事前に皆さまにお配りしております。ただ、本日のスライドの中で、皆さまにお配りしている資料と異なる資料、あるいは配付していない資料がスライドで映される場合がございます。そのような資料につきましては、アイデア段階などのものということで配付を差し控えた場合がございますので、スライドの写真撮影、書き写し等にご遠慮いただきますようお願いを申し上げます。

それでは、まず、当財団河川総合研究所の所長であります藤田より、今年度のセミナーのねらいにつきまして説明させていただきます。

それでは、よろしくお願いいたします。



藤田 改めまして、暑い中、当財団の河川研究セミナーにお越しいただきましてありがとうございます。

(スライド1) 最初に10分ほど使いまして、このセミナーの、今日の第1回も含めて3回全体のねらいをお話ししたいと思います。

(スライド2) 少々込み入った図ですが、これは2015年ですから、今から4年ほど前の、当財団での「河川の機能低下と維持管理の基本的な特性についての考察」というタイトルのフォルトツリー図です。川は非常に複雑な現象が絡み合っていて、最終的に最悪の場合には破堤に至るわけですが、個々のスタートとなるさまざまな要因が、どのように連鎖して、あるいは相互に絡み合っていて、当該出水の直前の段階で変状を来し、その変状のもとでまさにその災害を起こすような大きな洪水が出ると、どのようなシナリオで最終的に破堤に至るか、ということの全体を明らかにした図であります。

今日はそのことをそのまま説明するのではなく、

今回のセミナーのねらいを説明することが目的ですので、この図は細かなところを見ていただく必要はありません。大事なのは、図の中央に破線がありまして、この破線より下は経年的な変化過程、ある場合には機能低下を潜在的に起こしているという状況です。この破線から上が、まさに大きな洪水が来て、最悪の場合には破堤に至るという経路がさまざまに想定されるということになります。問題は、通常の点検だとか巡視において、測量も含めて、破線の下の部分の変化についてはしっかり捕捉できるようになってきたということでもあります。

次なる課題は、そういう変状なり川の変化が確認・覚知された段階で、ある洪水が来たとして破堤に至るような現象が起こるかどうかという、この破線の上の変状の読み込みですが、これが非常に重要です。現時点でこれがまったくなされていないということではなくて、特に流下能力については相当程度こういうものをチェックしている。例えば流下能力が不足して堤防の越水が発生して破堤するという、最も典型的な破堤の事例があります。これは、それなりに押さえられるということになっているのですが、この後少し説明しますけれども、特に構造物関係の変状については、いろいろな中小洪水を経たり時間の経過を経て変状があった、その変状が最終的に破堤に至るのかどうかという、これについては、いろいろな研究ないし調査は進んでいますけれども、それを実務的にきちっと出すところまでは至っていないというのが現状だというように認識をしております。

逆に、最近では、三次元の色々なデータが取れるなど、様々な新技術によって、ここの部分（スライド2の破線の下の方の項目の調査）の精度あるいは解像度、詳細度、それから把握の効率性は高まってきていますし、今後どんどん高くなっていくという状況です。そうすると、そういった新技術の活用も含めて、次のステップとして、ここの部分（スライド2の破線の上の部分）の理解を深め、こういうまずい現象に至るかどうか（スライド2の「破

堤への経路」）の判断をどういうふうにしていくか？このあたりが、大きなポイントではないかと認識をしているところです。

（スライド3）これは、非常にシンプルな事例で、流下能力関係です。例えば、スライド3の上にある図のような横断形状の河道があって、それを「原型河道」だとすると、河道に何の変状もなければ、流量が増えていったときに水位が上がる。これは単にH-Qだけの図ですから、この代表事例で言えば、毎秒2,500トンまでは安全に洪水流下させられますということになります。それが、この元々の河道に対して、例えば土砂がたまって30cm河床が上がれば、この関係性はグラフの破線「30cm河床上昇」のように上がりますので、2,500トンまでオーケーだったものが2,300トンぐらいまで機能が減じる。それから、樹木が生えるとかで粗度係数が2割増せば、点線の「20%粗度係数増大」の関係にやはりずれて、スライド3の例でいえば、安全に洪水を流下させる流量が400トン下がって2,100トンになってしまう。この原形河道に対して、河床がどう変わったか、あるいは樹木等によって粗度係数がどう増えたかということ事前に把握した上で、この河道では、流下能力という面でこういうふうに機能が下がるということをきっちり読み込んで、対策を打っていくということになるわけです。

こういうものについては、当然のごとくそれなりの方法論が、一定のレベルでできているということになります。

（スライド4）次なる大きな検討のターゲットとしては、やはり構造物、あるいは河道と構造物の接点にあって、両方の側面を併せ持つようなものです。

最も単純な事例として、スライド4の上にある図のように、こういうブロックが並んでいるとします。護岸でも良いですし護床工でも良いです。話を簡単にするために、こういう非常にシンプルな設定をしています。

ブロックの流れ方向の長さが70cmあって、厚さが20cmだとして、ここに1つのブロックだけ段差が生じているとして、これを「変状」とします。

その下のグラフは、CD値とCL値を与えた流体力と摩擦力の釣り合いの計算で、この変状のあるブロックがぼんと抜けてしまう閾値を出したものです。近傍の流速が、流れがないゼロの状態から、毎秒1m、3mと、上がっていくとした時に、この縦軸は、ある流速に対して、それが安定であるためにはブロックの厚さが何mなければいけないかという線です。実際のブロック厚は20cmですので、中央の水平の点線よりも数字が大きくなってしまったら抜けてしまうということになります。変状がなければ、当然、流れからは摩擦しか働きませんので、流速がどんなに大きくなって7m/s、8m/sになっても、この20cmという実際のブロック厚に対して（もっと薄くても良いぐらいですから）、洪水のときに抜けてしまったりはしないわけですね。

ところがだんだん変状が大きくなってくると、例えば変状3cmですと「変状（段差）3cm」の曲線のようになる。そうすると、5.5m/sぐらいからアウトになる。変状が6cmだと4m/sぐらいからアウトになる。変状がもし9cmあれば3m/sちょっと超えたあたりでアウトになるというふうに、ターゲットとなる洪水が来る直前の変状の状態によって、このブロックがどこまで護岸として機能するか？というその能力が、当然のごとく左右されるという問題になります。

今ご覧いただいているような、非常にシンプルな問題であれば言わずもがなで解けるのですが、実際に我々が管理の対象とするような様々な構造物、あるいは構造物と河道との境界領域といったものについて、洪水の時にどれくらいまでその機能を保ってくれるのか？を判断するというのは、まだまだ課題があるかと思えます。

（スライド5）今申し上げたことの2つを簡単に説明すると、洪水流下中に河川の状態がどう変わっ

ていくかを知ることが大事、ということになります。スライド5の上の方の図をまず説明します。今、平常時はこうです（横軸の左端の近く）。平常時は目の前に川がありますから当然見ることができるわけですが、洪水の規模が大きい時、大きい洪水が出た時に、この川の状態がどうなるかということが分からなければいけない（縦軸の推移）。流下能力についてはほぼ分かりますが、例えば、洪水中に河床が上がるのではないかと、洪水中にどこかがすごく掘れるのではないかとということについて、実務的な管理という面で、十分な信頼性でそれが分かるかという、もうちょっと検討の余地があるかもしれない。

それから、スライド5の下の方の図の説明になりますが、2番目のブロックの例で申し上げたように、洪水の規模が大きくなったときに、もとの状態からほとんど変状がなければ（今度は縦軸が構造物の変状ですが）、それがちょっとした変状で済むのですけども、元の状態での変状が一定以上になると、洪水の力によって急激にこの黒いゾーンに行ってしまう。ここは、破壊、そして災害の可能性が大きくなるということになります。そうすると、出水期前の変状（元の変状）がどれくらいだと、この悪いゾーンに行ってしまう、どれくらい以下だと、そんな大ごとにならないのか？という閾値が分からないといけません。この閾値を、本物の構造物に対して、どうやって見分けたら良いのだろうか。これが大事な技術課題だというふうに思います。

（スライド6）このセミナーのねらいですが、今の『河川砂防技術基準』の『維持管理編』においては、「施設の機能維持にかかわる目標設定」という非常に大事な項目があって、そこでは、変状の経時的変化を把握しなさい、となっている。変状の度合いを判断しながら機能を維持することが基本です。どういう変状だとどう危ないか？というのはなかなか難しいので、平常時に確認できる変状をベースにして評価をなさいたいとなっていて、これが現状のや

り方です。それでも相当なことは分かる。これだけ変状があったら洪水時にまずいじゃないかということは分かるのですが、もうちょっとこの先に進めるためには、じゃあ一体、この変状は力学的に、技術的にどれくらい危ないかということがもっと定量的に高い精度で分かれば、今、一生懸命やっている維持管理も次のステージに行けるのではないか？このような問題意識を持っているわけです。

そこで、今、一生懸命現場で行っている維持管理を、そのステージをもうワンランク上げるためには、この実力を読む技術、すなわち、この変状だどこまでの流量、どこまでの水位なら頑張れるのか？どこを超えるとそろそろ危なくなるのか？ゆえに、この変状だと至急直さなければいけないけれど、この変状だったらそんなに優先順位は高くないのではないか？そういう判断ができるような、川の実力を読む技術がもっと分かれば、今やっている維持管理がさらに合理化されていくのではないかと、ということで、それこそが、つまり洪水の時にどんなことが起こるかを知ることが、河川の維持管理の原点の一つではないかと、こういう課題設定をしました。

そこでまず、過去に災害を起こした洪水の実態、外力を基礎情報として捉え、洪水とはどんなものなのか？特に最終的に堤防を壊すようなことに至るような、そういう洪水の特性というのは何なのか？ということ捉える。それからもう1つ、洪水の時に、元の変状からどこまで進んでしまうのか？これはまさに、構造物の被災事例から学ぶべきものですが、これがやはり重要です。これら2つの情報を、平常時の姿から河川の実力を読み解く鍵としてうまく使って、ここに書いてあるように変状の種類により内包する被災リスクが異なることを考慮した維持管理のあり方を討議したい。さらにステップアップさせたい。これが、このセミナーのねらいになります。



(スライド7) 今申し上げました変状については、まだまだ、その変状から洪水の時に何が起こるのかを読み取るのは難しいので、堤防にしてもまずしっかり変状を見て、そこから評価しましょうというのが今の基本的なやり方です。それは非常に意味があるわけですが、しかし同時に、そういう現場の変状を見ていくとどうしても、もしこういう洪水が来たらどうなるのか、そういう情報をもっと知りたくなるんです。だから、現状、しっかりやっていることを説明した上で、この変状が洪水の時にどうなるかが分かたらなお良いなという、このセミナーの出発点である問題意識みたいなものを、今日の第1回目の最初のところで、当財団の山本が具体例で話します。

その上で、今日のメインディッシュになりますが、国土技術政策総合研究所からお招きした福島室長と土屋主任研究官から、今日は1回目なのでまず概略としての洪水、変状の拡大さらには堤防を壊すようなことを潜在的に起こし得る洪水というものが、どういうところまで分かって来ていて、どういう見方をしなければいけないのか、ということ、比較的オーソドックスに、水位情報から河道の状態を読み解くというテーマでお話いただきます。それから、最近の新しい展開である、水害リスクライン、洪水の状態をもっとリアルタイムで縦断の連続する形で把握する方法が出てきました。この2つの話題を通じて、新しいホットな情報を皆さまに提供させていただきます。

2回目は、まさに変状が洪水を受けてどう発達するかということ、壊れ方ですね、これの全体像を具体的な事例も交えて、国土技術政策総合研究所の諏訪 河川構造物管理研究官に講演いただきます。

最後にこれらの情報をまとめながら、実力を読む技術、それを生かす方策ということで、ここに記載されているメンバーで相互にディスカッションをする方式で、このセミナーのまとめをしていきたい。

以上が、このセミナーのねらいでございます。どうぞよろしく願いいたします。

それでは、山本さん、お願いします。

堤防点検の実態と課題

公益財団法人 河川財団 河川総合研究所 上席研究員 山本 嘉昭

山本 (スライド1) それでは、ここからは、私、河川財団の山本がお話をさせていただきたいと思えます。

『堤防点検の実態と課題』というタイトルをつけさせていただいておりますが、堤防点検のお話というよりも、今回の河川研究セミナーの主旨ののったお話をさせていただければと思います。

先ほど、当財団の藤田から話がありましたように、堤防点検は、平常時の堤防あるいは河道の状態を見るという行為です。堤防点検で得られる情報は、現場で確認される変状です。現在は、その変状を見ながら評価をしていくということを行っています。これは、先ほど申しました平常時、非洪水時の話です。しかしながらこの非洪水時だけではなく、洪水時、やはり確認された変状、そういうものが洪水の大きさによってどのように変化をしていき、そして堤防の機能に支障を与えるかということが重要であると考えます。

(スライド2) では、ここで「堤防点検」という言葉が出てきますけれども、ご存じない方もいらっしゃるかと思いますので、簡単にご紹介いたします。

(スライド3) 堤防点検は1日あるいは半日をかけて、5kmから10km、徒歩で移動しながら目視にて変状を確認するというものです。変状を確認した場合は、変状の項目、どこで確認したか、そしてその変状がどのような大きさか、写真の撮影を行ってそれらを記録していきます。同時に変状の評価を行います。この評価に関しては『堤防等河川管理



施設及び河道の点検・評価要領』に基づき行い、変状の記録に関しては、RiMaDISという河川維持管理のデータベースに記録されていきます。このRiMaDISは、全国で使用されており、リアルタイムでデータの蓄積がされているという状況になっています。

(スライド4) この堤防点検ですが、概ね5名以上の班体制で実施し、堤防の天端、川表・川裏の法面を歩きながら見ていくという状況になっています。

(スライド5) 堤防点検は、『河川砂防技術基準維持管理編(河川編)』では年1回以上行うものと記載されていますが、ここでは関東地方整備局の例を取り上げまして、年2回(出水期前、台風期)と表記しています。実施にあたっては、除草・集草が5月に行われ、その後に堤防点検を行い、今度は6月から10月の出水期間中に、台風期点検前の除草が行われるというようになっています。

(スライド6、7)は、堤防点検の課題ですが、冒頭に少し説明させていただいたように、やはり洪水時の変状が分からないというところです。

先ほどより、変状の評価というお話をさせていただいていますが、点検で発見した変状については、現場で一次評価を行います。一次評価では、a、b、c、dという評価を行います。

(スライド8) 変状の評価については「点検結果評価区分」という表があります。aランクは変状が確認されていない状態を表します。一方で、b、c、dランクに関しては変状が確認された状態を表します。このうちbランクとcランクに関しては、その施設の機能に支障があるかないかを評価しています。b、cランクに関しては機能に支障が「なし」、dランクに関しては「あり」ですので、dランクに関しては措置段階ということで、すぐに直さなければいけないという判断がされています。一方で、bランクとcランクの判断について、bランクに関しては、「進行する可能性のある変状」あるいは「経過を監視する必要がある状態」ということで継続した監視を要するものです。しかしながらcランクに至っては「機能に支障が生じていないが、進行性があり、予防保全の観点から対策を実施することが望ましい」ということで、少々進行性がある変状であるという判断ができます。

(スライド9) ここは、2点ほど変状の例を示し



ております。

1点目が「樹木の侵入、拡大」です。この樹木の侵入、拡大につきましては、変状の発生した状況によって評価が異なる変状です。川表で樹木が侵入しているA河川の例ではcランクとなっています。これは初期段階で、予防保全の観点から樹木伐採をしようということによってcランクになっているものと思われる。

一方で、C河川はもう大きく成長してしまった樹木ですが、これに関しては早期の伐採を要することから、この樹木の堤防機能への影響を考慮してcランクと判断されています。

(スライド10) 樹木に関しては、例えばこの評価分類図のように川表法面の高木が水位以下にある場合についてはdランクと評価することが考えられます。あるいは樹木が法面にある場合や、低木や中木であればcランクで対応していくことが考えられます。また川裏では、木で太陽がさげられて法面に植生が生えない。そうすると裸地化するのでcランクであるといった評価の分類の考え方はつくれるかと思えます。

このようなイメージ図ができれば、洪水時でも、大体どのような変化が起こるかということが考えられるかと思えます。

(スライド11) 一方、護岸等の沈下・陥没に関しては、例えば左側の破損ですが、これについてどのような河川で起こっているか。例えば勾配。セグメントが2なのか、あるいはもっと緩勾配で、もう河口部付近なのかということで、この評価は分かれてくると思えます。水の流れによって、この護岸自体がめくられるということがあれば、cランクではなくdランクという評価になることも考えられます。このようにただ変状を見ただけで判断する評価ではなく、さまざまな情報をもって総合的に評価していく必要があるのではないかと考えられます。

(スライド12、13) まとめですが、私がお伝えしたい内容は、冒頭にお話しさせていただきましたように、非洪水時に見ている堤防点検の変状だけではなく、洪水時にこれらの変状がどのように変化していくかというところも考慮した上で、個々の変状の評価をしていくことが必要ではないかということです。これにより、補修・改修の優先順位とか、あるいは点検すべき箇所、点検時の視点など、新しく見えてくるものがあるかと思います。そしてこれによって堤防点検等でこれまでに蓄積されたデータが活用され、さらなる河川維持管理のステージに向かうことができるのではないかというふうに考えています。

このあと、福島さんと土屋さんに、「洪水時にどのように変状が変わっていくか」という観点でお話をさせていただきます。このセミナーが少しでも皆さまのお役に立てれば幸いです。

(スライド14) 私からは、以上です。ご清聴ありがとうございました。

司会 質疑につきましては、本日の3つの講義がすべて終わった段階で受け付けさせていただきます。

それでは、続きまして、国土技術政策総合研究所の河川研究室長、福島さまよりご講演をよろしくお願いいたします。

水位情報から読み解く河道の状態 ～河床洗掘への対応を中心として～

国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室 室長 福島 雅紀

福島 皆さんこんにちは。ご紹介いただきました、河川研究室の福島です。どうぞよろしくお願いいたします。

(スライド1) 今日は、こういうタイトルでお話しさせていただきますが、先ほど藤田所長から説明があったように、点検ということ、今日の話題は以下の4つを考えています。

1つ目は、先ほど堤防の話でもありましたけれども、堤防、やはりかなり長いということで河道も当然長い。長距離であるので、点検箇所をどうやって絞り込んでいるのかということ、絞り込んだ後、どういった状態になったときに危ないかということを見きわめるのが大事だという、その部分についてのお話をまずさせていただきたいと思っています。

その上で、今やっている手法についても当然課題はあるということで、やはりこういう視点も盛り込んでいくことが必要だなと考えているのが2つ目です。特に河川改修とかで、水位縦断形が変わるといのは、やはり川底にかかる力が大きく、先ほどからの話にもありましたけれども、平常時とは違うような力がかかる。改修等によって、基本的には川幅を広げると思うのですが、そうすると川底にかかる力は低くなっていくのですけれども、掘り下げて川を改修するなどというときには、逆に川底にかかる力が増えるわけです。そういった変化を管理に反映することも重要だという話を2つ目にさせていただきたいと思っています。ここでは、ある川の被災事例をもとに話をさせていただきたいと思っています。

3つ目は、河川の実力という話がありましたが、私は河道の実力という観点で考えて、副題を「河床洗掘への対応を中心として」とさせていただきまし



た。セグメント1の河道に関する話題が中心になってしまうかもしれないのですが、川底にある河床材料の粒径とその層厚が河道の実力を考える上でやはり非常に大事なかなと思います。どれだけ掘れて耐えられるのかということを考えるのが大事なかなと思います。3つ目にはそういった話題を挙げさせていただきました。

この後、土屋さんが水害リスクラインの話をするので、最後4つ目ということで、河道設計や河道管理の観点から、水害リスクラインに期待することについてお話させていただきます。

(スライド2) これは、先ほど見せていただいた資料(藤田光一 河川財団河川総合研究所所長「本セミナーのねらい」スライド5)なので飛ばします。

(スライド3、4) まず、点検箇所の絞り込みと閾値設定に当たっての課題ということ、これは河道管理基本シートです。ここに来られている皆さんはよくご存じのシートだと思います。河道管理基本シートは、九州地方整備局さんが国土技術政策総合

研究所と一緒に河道管理について勉強し、河道を点検する上で重点的に点検する箇所をどう絞り込むかと観点で作成したシートとなります。例えば、数十キロもある河川の中から、重点的に点検する区間や箇所を抽出する際に活用します。改めてシートの構成を説明しますと、水位と河床高の縦断図、樹木繁茂の範囲位置図、平均河床高・最深河床高の経年変化図、滲筋、ここでは最深河床高の横断面内での位置としていますが、その位置を示す図、湾曲区間を示す図となります。

(スライド5) 先ほど藤田所長から流下能力の話がありましたけども、流下能力については「判断のための工夫(1)」ということで、縦断図の拡大した図に着目していただきますと、現況河道の水位は、青の実線で示しています。樹木伐採後の水位とハイウォーターを、それぞれ緑、赤の実線で示します。現況河道の水位がハイウォーターよりも高く、樹木伐採後の水位がハイウォーターよりも低くなる場合には、樹木が流下能力を阻害しているということで、樹木伐採が必要だということを判断できます。

一方、川底の洗掘に対する強さについては、護岸の基礎高を「判断のための工夫(2)」のように表示しました。護岸基礎高に対して、平均河床高や最深河床高はどの高さにあるかということで、その差によって、護岸基礎高よりも最深河床高が低ければ、そのような箇所は洗掘の危険があります。ただし、滲筋が護岸に寄っていないければ護岸は被災しませんので、滲図の位置図も使い洗掘によって護岸の被災が生じる可能性がある区間を抽出します。

(スライド6) 護岸の点検フローを書いたのがこちらのスライドです。例えば、先ほどの「最深河床(滲筋)が河岸に寄っているかどうか」ということを見て、「Yes」のほうで見えますけれども、最深河床高が管理基準高、基礎工設置高よりも低ければ洗掘対策が必要となります。必要なのだけれども、対策を実施していなければ「要注意(A)」と

して、点検の優先順位を上げることとなります。なお、洗掘対策を実施していれば、「要注意(C)」とし経過観察することになります。

(スライド7) こうした判断を行う上で、河道の主な変化パターンは理解しておくことは重要です。これは『河川砂防技術基準の調査編』にも書いてありますが、主なパターンは3つあります。1つ目は「じわじわ進行型」です。この矢印は洪水をイメージしています。長さは、洪水の規模的なものをイメージして書いています。時間をかけて徐々に徐々に、じわじわ進行していくタイプです。2つめは、「特定イベント時進行型」です。大きな出水時にドカンと動くような変化です。3つ目は、「特定イベント時完結型」です。ここでは最深河床高としていますが、洪水中の一時点で河床が下がったり、上がったりする変化であり、洪水が終わった後に測量しても、河床高の変化を捉えられないパターンとなります。

(スライド8) 先ほどの河道管理基本シートは、これらの変化パターンのうち、「じわじわ進行型」を予見するのに使えると思っています。この図は、先程の変化パターンを具体化したものです。横軸には時間、縦軸は平均河床高です。縦のオレンジ色の線が測量実施時期を示します。現状が黒丸としますと、次の測量時期までに平均河床高がどう変化するかを予測して、流下能力確保のための閾値を超えていないという予想であれば、次の測量までは特段の手当て(対策)をしなくても良いだろうという、そういう判断になるかと思えます。このときのキーとなる視点が、変化傾向を見通すことができるかということだと思います。黒丸の現状から出た変化傾向を示す3つの線がありますが、この変化傾向を見通すことができるかということなのです。

何をチェックしなければいけないかというと、過去の平均河床高の変化を整理する必要があるとあって、例えば過去の2回の測量、現状の前の2回の測量で

は、毎回同程度の河床上昇量だったということですね。また、近年、河川事業、改修事業等は実施されていないことから、次期測量時期までは同じような変化傾向が続くであろうという判断につながると思います。そのように判断しますと、次の測量実施時期までは対策を実施しなくても良いであろうと、そんな判断ができるということです。

(スライド9) ただし、先ほど申し上げたように、「特定イベント時進行型」では、河道管理基本シートを容易には使えません。そこで、今後こんな整理をしていく必要があると考えています。スライド8と同様な変化図を「特定イベント時進行型」を対象にして記載しています。

例えば、現状がここで、流下能力確保のための閾値のところに、次の測量時期までに上がるのか上がらないのかというのをどう予見するかということですが、やはり出水時にどんなことが起こるのか。先ほど変化傾向と書きましたが、やはり急に変化するというのは、どんな現象が起こるのかというのが分かっているかどうかというのが非常に重要なポイントかと思えます。そうしたときに、河床変化量について、洪水ピーク流量や洪水継続時間との関係を整理する必要があるだろうと。過去にこんなことが起こっているということがあれば、横軸にそんな洪水ピーク流量もしくは洪水継続時間かもしれません。その掛け算かもしれませんし、そういったものをもって、河床高変化量はどうだったのか。プロットしたときに、あまり洪水規模にはよらないのだということが分かっているならば、この川はもう次まで大丈夫という判断はしやすいのですが、右肩上がりだったとか、変な傾向を持っていたりすると、ちょっと大変です。もしこういう、ある程度の線形的な関係を持っているのであれば、私たちは5年に一度ぐらい測量をしていますから、 $W=1/5$ 、5年に一度ぐらいの出水のとき、どのくらい変わるのかということを読んでおいて、大丈夫かどうかという判断をするというのも一つの手かなと思いま

す。別にこれはこう決めたというわけではないのですが、こんなことが考えられるかなというように書いているものです。

(スライド10) これはさらに難しい変化パターンである「特定イベント時完結型」です。そもそも、どうやって洪水時の河床変化量を計測するのかというのが問題だと思います。この場合、流下能力というよりも護岸基礎高の方が説明しやすかったので、最深河床高を縦軸にとって、閾値は護岸基礎高に基づく閾値にしましたが、出水時に生じる現象、やはりどんなことが起こるのかを知っていることが重要であり、こういった出水時に生じる変化量を計測するという、昔からやっていると思いますけれども、洪水規模との関係を整理しておくことが必要です。また、こうした変化を予測する手法というもの確立する必要もあってはいますが、すみません、これについては答えを持ち合わせていませんので、こんなことが課題だなということで上げさせていただきます。

(スライド11、12) ここからは、2つ目の話題です。1つ目の話題で述べたように、私たちは河道の変化を傾向分析することで管理していますが、河川改修等を実施しますと、その傾向が大きく変わる可能性があるわけです。そういった場合に、どう対応するかということになります。

左上の写真は、ある河川において右岸側の法面が侵食された事例です。遠景で見るとこんな形で、護岸に向かって流れが向かっています。

これは横断の比較図なのですが、過去10年では0.3mぐらいの低下で、じわじわと低下してきたところだったので、今回の出水で1m低下してしまいました。こうした急激な変化傾向の変化は予測できないということです。

(スライド13) この間に何があったのかということですが、出水前の状態はこのスライドの通りで

す。上が平面図で、下は被災箇所上流の根固め工の区間を少し上流から見た写真です。

左岸にかなり砂州が発達しています。左岸の砂州の発達によって、洪水時には右岸に向かう流れが生じると考えられます。ここが被災箇所ですが、その上流の護岸設置区間では、護岸前面の根固工が多少沈下していることを確認できますが、護岸自体に変状を確認することはできません。

(スライド14) このスライドは改修の経緯を示します。昭和59年の航空写真を見ていただきますと、赤丸の点線で囲んだ部分には斜め堰があったのですが、平成2年の出水によって斜め堰が壊れています。この堰の影響によって、昭和59年頃には左岸に砂州が形成され、この頃から右岸側に流れが寄っていたと考えられます。そのため、前のスライドで護岸の話をしたのですが、右岸側には水が当たる状況が続いていたのではないかなと推測します。

その後、平成8年に砂州の掘削と、堰①の撤去をしています。流下能力の不足を解消するため、堰①を撤去しています。あわせてその後、堰②、これは可動堰ですが、この位置に作っています。取水のためには堰は必要だが、洪水時には河積を阻害するため、可動堰化しています。出水時には、堰を倒し、この右岸側にあった砂州も撤去しているので、この区間の流下能力は向上しています。

(スライド15) このスライドは飛ばします。

(スライド16) 堰を改築した後に発生した平成21年の出水で何が起こったかという、これが水面形の改修前後での変化を示します。改修前が緑の実線で、ハイウォーターは黒の点線で表示されていますが、改修前には堰の区間で流下能力が不足しています。被災箇所はここですね。改修後の水面形は、青の実線ですが、被災箇所近傍の水面勾配が改修前に比べて大きくなっていることを確認できます。水面勾配が大きくなったことで、河床に作用する掃流力

が大きくなって、河床が洗掘され護岸の基礎が流出したことで法面が大きく侵食したと考えられます。

洪水中に何が起るかについては、目視で点検しているだけでは分からないことが多いので、施工の結果だとか、改修時の設計などの検討結果を管理に反映していくといった視点が大事です。

参考ですが、この赤線というのは、水面勾配がこんな急な状態ではいけないということで、このあたりの砂州を掘削して川幅を少し広げた状態で計算した水面形となります。

(スライド17) これが川幅を広げる前後での現地写真となります。この下流側が被災箇所ですが、川幅を広げて水面勾配を緩くしたという工夫です。なお、その後の変化については把握していませんが、改修後の水面形がどうなるかを考えるのは非常に大事なポイントだということです。

(スライド18) ここからは、3つ目の話題です。河道の実力ということで、河床低下に対する実力という切り口でお話しさせていただきたいと思います。「河床洗掘に対する耐力を把握する上で重要な河床材料の粒径と層厚」について説明します。

(スライド19) 事前に資料をお配りしているので右下の写真も確認できると思いますが、私たちが通常時に点検に行くと、橋の上から見る河道って左上の写真のような状況ですよね。洪水時にどのような状況になるのか、多分想像できる人はいないと思います。自分でもなかなか想像しにくいです。右下の写真は、平成24年の九州北部豪雨によって洪水が発生した後の同地点の状況です。これは、筑後川支川花月川の筑後川合流点から5、6km上流の地点となります。左上の写真の高水敷だけを見ていると、もともとこんな礫があるようには見えない川なのですけれども、いざ出水を受けると、粒径30cmの礫が表面に現れてきます。また、ほぼ堤防満杯で洪水

が流れ、右岸側が決壊し仮堤防が建設された後の状況となります。この区間の河床勾配は1/100程度、代表粒径は10cm程度です。通常時は、左上の写真の状態でしか河道を確認できない中で、私たちは河道の点検をしなければならないということです。

(スライド20) これも同じ花月川ですが、先程のスライドよりも上流の合流点から8kmぐらいの地点の写真です。先程と同様に、平成24年の九州北部豪雨による出水前後の写真です。

(スライド22) 先にお話ししておく、これは花月川の縦断図ですが、先ほどの場所はこの2カ所です。河床勾配は約1/100、堤防満杯で3.4m、3mの水深です。摩擦速度を計算しますと、54~58m/s程度の非常に大きな摩擦速度が生じています。

(戻ってスライド21) こちらの写真は、多摩川の約52km付近の状況です。河床勾配は1/300程度です。この地点は堰の直下なのですが、過去からの経緯で、随分河床が低下してきた場所です。ある時期に、ここの写真を撮ると左上のような状態です。結構粒径が小さいので、比較的穏やかな流れの川だと思うかもしれませんが、いざ低水路満杯ぐらいの洪水が来ると、右下のような状態になります。川底に、人がこの大きさですから、粒径40cmから50cmぐらいの礫が出現します。堰の直下ということから、低水路満杯程度の洪水では上流からの土砂供給があまり期待できない場所ですが、アーモークートが形成されることで河床の低下が抑制されていると考えることができます。もしアーモークートが形成されていなければ、河床はもっと下がるかもしれません。また、多摩川の特徴として、河床材料の層厚は薄く、その下には土丹層が現れます。この土丹層の特性から、河床低下の進行速度が予測しにくく、局所的な低下も想定されます。

(スライド23) 河床材料の粒径と掃流力との関係

をプロットしたのがこのスライドです。縦軸は、摩擦速度の2乗で表示しています。これは沖積河川学で山本晃一さんがまとめられた全国の河川の代表粒径と平均年最大流量時の摩擦速度の2乗の図ですが、だいたい日本の川はここに示す関係で安定していると考えることができます。今日私がお話するのは、ほとんどセグメント1の話にしか該当しませんが、セグメント1で見えますと、ちょうどこの実線の曲線の右側の方のラインに來ます。

このあたりのラインというのは、右下の青い四角の囲みの中に書いてあるのが無次元掃流力=0.06というラインですので、ほぼほぼ青い点線に乗ってくるということです。要するに、川底の河床材料が動くか動かないかのところで粒径が決まってくるというのがセグメント1の河道の特徴だということです。ここで、右端に赤い線で記載したのが、花月川の事例です。

(スライド24) これは多摩川の縦断図です。発表時間の関係から詳細はお話しませんが、ここに示す程度の摩擦速度と水深が発生します。摩擦速度に幅がありますが、この8mはハイウォーターでの水深です。

(スライド25) 先ほどの花月川というのは、このあたりの摩擦速度の2乗ですので、ちょうど45cmぐらいの粒径の河床材料が川底に必要であることが分かります。また、灰色の実線は、多摩川の事例です。低水路満杯からハイウォーターで、だいたい10cmから30cmぐらいの粒径の幅があって、先ほど川底で頑張っていたというのが30cm以上の粒径ですので、まあまあ納得がいくというものです。このように河床材料は粒径は川底の耐力として非常に大事だということです。川を見るときに、勾配は事前に見ておけば分かりますし、水深は堤防高を見ておくと分かりますので、川底についてはこのぐらいの材料が必要なんだということが、河道を点検する上で事前に確認しておくことが大事かと思います。

先ほど河川改修の話がありましたけども、川底を掘り下げる河川改修は水深を増加させ、結果として摩擦速度を増加させてしまうので、改修後の掃流力の作用に対して十分に大きな河床材料が川底に存在するかということは、改修にあたって留意すべき点だと思います。

(スライド26) 関連して、留意点をもう一点。このスライドは河川財団さんの研究成果から引用したものです。先ほど土丹層という話がありました、赤線で現況の最深河床高が書いてあって、沖積層と洪積層というちょっとかたい層があります。河床材料である砂礫がなくなってしまうと川底の安定性が失われるという話がありますが、この沖積層が河床材料に相当しており、この沖積層がどれだけあるかというの、先ほどの河床材料の粒径と合わせて、洗掘に対する河床の耐力を評価する上で重要です。

(スライド27) このスライドでは、鬼怒川66.5kmの横断形の変化と洪積層が露出した箇所の写真を示します。鬼怒川では、沖積層の下に比較的固い凝灰岩が出てきますので、急激な侵食は生じないと思いますが、これが先ほどの多摩川のような土丹層ありますと、一気に掘られたりして護岸が被害を受けるというようなことがあるということです。こうした変化については、やはり目視点検だけで確認することは難しく、日ごろから横断形の重ね合わせ図を見て、土丹層だとかこういう洪積層とかが出てくる



と、砂礫で覆われた河床では見られない、平坦な形状だとか、極端に切り立った凸凹した形状などが生じることがありますので、机上点検として現地での点検の前に確認しておくが良いです。

(スライド28) そろそろ最後の図面に近づいてきましたが、宿題として洪水時に重篤化し得る変状とは何かという話をいただいていますので、私が見てきた災害の中で重篤化したなと思った変状を幾つか挙げました。

1つ目は、ご存じの方もいるかもしれませんが、ある川の横断構造物が被災して、右岸側の端部周辺が大きく侵食された事例です。横断構造物の右岸側が流出し、流れが右岸側に集中することで堤防を一部侵食したという事例です。これも、2つ目に話した内容と同様で、河川改修が影響したものです。下流側の堰が被災前に撤去されており、水面勾配が急になることで当該横断構造物の下流河床が低下した、というのも原因の1つだろうと考えられています。やはり改修後の河道の変化を予測し点検に生かすことは、点検にあたっての大事なポイントの一つです。

2つ目は、堤防の侵食に伴う決壊事例なのですが、護岸前面の局所洗掘に伴い基礎工が流失し、徐々に法面が崩壊し、堤防天端、裏法と侵食が進行していったものです。たまたま堤内地の地盤高が高かったため、氾濫は生じませんでした。ここも実は、被災前に河川改修を実施して、改修の影響が大きかったとは言えないのですが、影響というよりも河床材料としてどんな粒径を残したのか、例えば湾曲部の外岸側では河床が掘れますが、掘れる際には比較的大きな礫が残っていることが多いですが、河川改修の際にそうした大きな礫を外岸側に残したのか、基礎工の根入れ高と現況河床高の差が小さい箇所には大きな礫を配置して河床低下が生じにくくするような工夫をしたのかなど、河床の洗掘に対する耐力を考える上で非常に重要なポイントです。

3つ目は、ちょっと今回の話題とは少しずれるかもしれませんが、気候変動下での河川管理を考える

上で重要な事例と思っています。これは、北海道の十勝川の支川音更川の事例です。もともとここには幅120mの高水敷があったのですが、平成28年は連続して3回の洪水が来た。120mの高水敷、堤防防護ラインという観点でいえば十分だったと思うのですが、3回の連続した洪水の作用で堤防まで侵食されたという事例です。少しずれた話題と言いましたが、洗掘ではなく、側方侵食の事例ということです。こうした応急復旧の時間がない中で来襲する洪水にどう対応するのか、気候変動下の河川管理を考える上で重要と思います。

4つ目は、浸透破壊による堤防の決壊ということで、これもまた洗掘の事例ではありませんが、越水以外で重篤化し得るといえる事例です。越水した場合には、そもそも堤防は越水に対して設計されていませんので、堤防が決壊する可能性は高くなりますが、越水せずに堤防が壊れるということは堤防を管理する観点からは重要な事例と思い紹介しました。ちなみに、これは矢部川の事例です。

(スライド29) こうした重篤化し得る事象をどう捉えるかということですが、平常時に確認すべき事項として、スライド28で挙げた①、②、③については、先ほど申し上げてきた河道管理基本シートを1つの軸にして、摩擦速度に見合った河床材料があるのかどうかを確認することが重要です。ここで、河道管理基本シートに地質縦断図を組み込み、河床材料の層厚が少ないところを確認するのも有効です。

また、水害リスクラインというのが出てきたので、経験水面勾配だとか経験摩擦速度みたいなものの縦断図を作成しておき、過去に経験したことがないような水面勾配や摩擦速度が今回の出水で生じているのか、もしも生じていたならば、すぐにその現場に行って、変状の有無を確認する。確認することで、経験水面勾配や計算摩擦速度の有効性を確認することが、水害リスクラインの活用の幅を広げるともいえます。事例③については、側方侵食と言うこ

ともあり、河道の平面形も関係しますので、ここで述べた視点だけでは不十分だと思いますので、「皆さんで考えましょう」と記載しました。

(スライド30) スライド28の事例④はパイピングの話です。先ほど山本さんから堤防の点検の話(山本嘉昭 河川財団河川総合研究所上席研究員「堤防点検の実態と課題」)が出ましたが、パイピングは、法尻に噴砂があるかとかそういう話はよく言われると思いますけれども、噴砂だけではなくていろいろな変状が同時に起こると思います。亀裂、すべり、泥濘化などが同時に発生しますので、変状を見るときポイントとして、1つの変状だけではなくて、その周辺に生じる変状の組み合わせで見てやるというのも大事ではないかということで紹介しました。

(スライド31) ここ数年、国土技術政策総合研究所ではパイピング現象について検討しています。ここに示す流れに沿って堤防の点検を事前に実施しておくことで、パイピングによって堤防の変状が派生しやすい区間を特定できると考えています。時間もありませんので、簡単な説明で次に移ります。

(スライド32、33) 最後は「水害リスクラインへの期待」ということで、次の土屋さん(土屋修一 国土技術政策総合研究所河川研究部水循環研究室主任研究官)に対して、こんなことができたなら良いなと思うことを話させていただきます。

先ほどから申し上げているように、河道というのはやはり自然公物であって、出水のたびに変化するという前提に点検しなければいけないという中で、水害リスクラインというのは、推算される水位というのが逆解析を実施しているの、再堆積だとか再繁茂、そういった状況を踏まえた水位になっているのではないかなと思います。そうすると、危機管理情報としては非常に重要な情報を提供してくれると思います。すなわち、変化する河道の現状を

表現した情報になっていると考えられます。

水害リスクラインでは、堤防高と推算された水位を比較することで、越水の危険のある箇所を示しますが、例えば、経験水位だとか経験洪水継続時間、あとは福岡先生（福岡捷二 中央大学研究開発機構教授）が言っているような堤防脆弱性指標なども計算し、洪水後にどんな変状が起きたかも合わせて確認することで、これらの指標の有効性を確認し、改善すべき点を改善していく。そんな使い方ができると考えます。

もう一方、侵食の方については、先ほど申し上げたような経験水面勾配だとか経験摩擦速度みたいなものもあわせて出して、実際に局所洗堀が起こった場所と比較をしてみるというようなことを今後やっていく必要があるのではないかと。こういった検証作業を経て、避難情報だとか水防活動のための情報として有効になっていくのではないかなと思いますし、そのような点で水害リスクラインに期待しています。ということで、私の話は以上となります。

まとまりのない話も途中含んでおりましたが、ご静聴いただき、どうもありがとうございました。

司会 福島さま、ありがとうございました。

それでは、引き続きまして、国土技術政策総合研究所 河川研究部水循環研究室の土屋さまから、「新しい洪水予測手法：水害リスクライン」についてご講演をよろしく願いいたします。

新しい洪水予測手法： 水害リスクライン

国土技術政策総合研究所 河川研究部 水循環研究室 主任研究官 土屋 修一

土屋 国土技術政策総合研究所の土屋と申します。
よろしくお願ひします。

今日は、「新しい洪水予測手法：水害リスクライン」というタイトルで発表させていただきます。

まず、先ほど山本さん（山本嘉昭 河川財団河川総合研究所上席研究員）からありましたように、洪水時の変状はどうなっているかとか、洪水時に河川の実力はどう変化しているかというのは、まだ把握できるようなところにはなっていません。しかし、リアルタイムで河川の縦断的な水位が得られるというような時代になった中で、そういった変状の検知とか、河川の実力を知るといふようなことのヒントとなって頂ければと思っております。

今日は、水害リスクラインの説明と、その根幹となる技術的な話、運用している10河川の水害リスクラインを構築するときのエピソード的な話をしながら発表させていただきます。

（スライド1、2）まず、水害リスクラインとは、＜河川縦断水位と各断面に設定されている危険水位等の関係等を介して、氾濫がいつ、どこで発生し得るかといった洪水の危険度を川に沿った「線」の情報として示すもの＞。つまり、水害リスクラインとは、計算した河川水位の結果の表示の仕方を示しているものです。断面ごとの水位と当該断面に設定されている危険水位との関係を危険度として評価して、色分けして表示する。この表示の仕方を「水害リスクライン」と呼んでいます。

（スライド3）これは、今までのものと水害リスクラインは、どのように違うかというもので、左側



が川の防災情報で、洪水予報が出たときの表示を示しており、右側は、川は違いますけれども水害リスクラインの表示を示しております。今までの川の防災情報だと、水位観測所の水位が氾濫危険水位に到達した場合や、どこかで越水をした場合は、実際に越水や基準水位に到達したのはある地点であっても、左の図のように、河川全体で全線にわたって色付けがされておりました。一方で、水害リスクラインでは川の水位を測量断面ごとに計算して、その場所に設定されている危険水位等を比較して、越水しているかどうか、川の水位が危険水位までどれぐらいかというのを色分して表示します。これで、どこが洪水の危険や氾濫の危険性が高いのかというのが、より詳細に把握できるようになっています。

（スライド4）水害リスクラインに取り組み始めたきっかけは、鬼怒川の氾濫の教訓であり、破堤口付近で逃げ遅れが発生したことや、破堤口付近で避難指示が出ていないことでした。このようなことに対して、洪水時の河川の状況を的確に把握し、氾濫の切迫性や氾濫した場合の被害規模を伝えることが

必要だということで、国土技術政策総合研究所の中で「洪水危険度見える化プロジェクト」というものを立ち上げて、取り組んできました。

(スライド5) 結論から言うと、河川の情報点を点から線へ展開ということで取り組んできています。今までは水位観測地点の観測水位、予測水位という点情報で、この図にあるように、ここにだけ水位の情報があり、この間の水位がどのようになっているのかというのを想像しながらオペレーションなどをしなければいけなかったのですが、水害リスクラインでは上下流連続的な水位を出して、そこから堤防高とか危険水位の情報を組み合わせて、地先ごとの氾濫の切迫性、氾濫した場合の被害規模を把握できるようにするという事を目指して作ってきました。

(スライド6) この図が水害リスクラインとなります。河川水位予測システムが時々刻々算出する上下流連続的な縦断水位を、氾濫危険箇所の切迫度の変化をこのように表示して、リアルタイムで把握できるようにしています。

(スライド7) この水害リスクラインは、現在、3種類表の危険度を表示できるようになっています。それぞれ「洪水の危険度レベル」「危険水位と河川水位の差」「危険水位までの到達時間」ということで、「洪水の危険度レベル」は、断面ごとに設定した基準水位、危険水位とか、避難判断水位、氾濫注意水位というものをベースにして判定したものです。「危険水位と河川水位の差」は、危険水位というものに対して、0から1mの間にあるのか、1から2mの間にあるのかというようなことで判定します。「危険水位までの到達時間」は、危険水位というものに対して時間の概念を加えて、3時間以内に危険水位を超えるかとか、危険水位を超えるのは3時間以後なのかというようなことで判定しており、このような危険度が選べるようになっています。

(スライド8) 新しい洪水予測手法と水害リスクラインの開発の経緯ということですが、鬼怒川(の氾濫)の発生する前から俯瞰的な表示のようなことは取り組んでおり、鬼怒川の氾濫を契機にさらに検討を重ねて、水害リスクラインという形になってきました。

「新しい洪水予測手法」というのが左側にありますけれども、これは別の研究でやっています、平成26年ごろから始めていたものです。昨年、平成30年からこの新しい洪水予測手法と見せ方というものをご組み合わせして水害リスクラインというものにし、昨年の7月末から3水系、自治体に限定していますけれども公開しています。

また、今年に入って6月から、プラス7水系の計10水系で運用を開始して、自治体等で限定公開とともに、YouTubeによる一般公開というものをやっています。これは川の防災情報にリンクがあるので、皆さん誰でも見られるようになっています。

最終的には、109水系の水害リスクラインを公開するという事で、現在、進められているところで

(スライド9) これからは、新しい洪水予測手法の技術的な話をさせていただきます。

(スライド10) 今までの河川水位予測というのは、流出モデルを主とした流量追跡に基づく予測ということで、流出モデルしか使っていないものもありますし、流出モデルに限定的に河道モデルを入れたというものもあります。流出モデルを主としたということで、これは応答関数のようなものなので、インプットが変わればアウトプットも変わります。雨の予測が外れると水位計算の予測も外れるというようなものですが、新たな河川水位予測技術は、右に図にありますけれども、データ同化技術による水面形推定と河道モデルによる流下追跡ということで、計算と観測を組み合わせるデータ同化技術を用いて、現時刻の川の水面形を推定する。これを河道

モデルで物理的に流して予測するというもので、このやり方では、流下時間内であれば降雨予測精度影響を受けにくいという特徴があります。

ポイントとしては、データ同化技術を導入して、解析技術と観測技術を組み合わせた予測をやっているということになります。

(スライド11) 従来の計算の手順と、新しい水位予測の計算手順の説明をします。今までは観測雨量の時系列に予測雨量の時系列をつなげて、その雨量データを流出モデルに与えて水位を予測するというものでありましたが、新しい水位予測手法では、まず観測雨量を流出モデルに与えて、雨量を流量に変換して、それを河道モデルに与えて水位を計算する。そのときに観測水位を、データ同化手法で取り込んで、川の水面形を推定する。推定した上で予測雨量を与えて、流出モデルでまた雨量を流量に変えて、河道モデルで流下させるという2ステップでやるような手順になっています。

(スライド12) 流出モデル、河道モデル、データ同化技術で構成されるわけですが、流出モデルは土研分布モデル、これは250mメッシュの土研分布モデルとしています。また、河道モデルは断面毎に水位を求めるということ、川の水位の流下を物理的に計算するということから、次元不定流モデルとしています。流出モデルの川への流入量を河道モデルに対しては横流入というような形で受け取って、1つのモデルとしています。この流出モデルと河道モデルを組み合わせたものに対して、データ同化をするわけですが、これには粒子フィルタというものを使っています。ここに書いてあるカスケード同化については後で説明しますが、粒子フィルタは普通に適用すると膨大な計算量になって、洪水予測のリアルタイム計算には間に合わないということで、カスケード同化手法という工夫をしています。技術的には大きくは、土研分布モデル、不定流モデル、粒子フィルタというもので構成される河川

水位予測モデルとなっています。

(スライド13) 粒子フィルタを簡単に説明します。どのように粒子フィルタの計算がされているかということ、まず「現況アンサンブル計算」ということで、パラメータ等が異なる流出+河道モデルを複数用意して、1時刻前から現時刻まで計算する。パラメータが違うので、例えば30個パラメータを用意したら30個分の川の水位が計算されます。

この後に「フィルタリング計算」というものをやります。簡単に言うと、観測値によく適合していそうな計算結果を取り出すということがフィルタリングです。この地点でフィルタリングをして、観測値をよく表現していそうな水位予測モデルに対して予測雨量を与えて、将来の水位を予測するというような手順でやっています。リアルタイムで、その都度その都度パラメータをチューニングしながら洪水予測をやるというようなイメージを持っていただければと思います。

(スライド14) 次に、カスケード同化について説明をします。カスケード同化をするために、カスケード分割というものをやります。カスケード分割とは、まず同化地点に対して、上・下流の水位観測所であるこの範囲を分割します。次の下流側のカスケード分割は、ここから一部を重複させながらずらして設定します。そして、水位観測所AからCの間をカスケード区間として粒子フィルタをかけます。そうすると、この地点で同化します。同化した結果は、ここでの粗度だとか横流入量というものが出てきて、この同化地点の出てくる流量を次のカスケード区間の上流端流量として与えて計算します。

例えばここにパラメータを30個、ここに30個、ここに30個でやると、計算の量としては、ここ（水位観測所A-B間）で30、ここ（水位観測所B-C間）で30、ここ（水位観測所C-D間）で30の計算をして、30掛ける3の90個となり、90回計算を回すことになります。しかし、粒子フィルタをカスケード分割しないで適用して、同等の粗度の調整をしようとす

ると、ここ（水位観測所A-B間）に30与えて、ここ（水位観測所B-C間）に30与えて、ここ（水位観測所C-D間）に30与えて、それらの全部の組み合わせで計算しなければいけないので、30の3乗となり、9,000回計算しないとカスケード同化と同じような計算結果が得られない。上流から順番に決めていくということで、計算量を相当数減らすことができるようになり、リアルタイムの多地点の観測水位を取り込んだリアルタイムの洪水予測が可能となっています。

（スライド15、16）次から検証ということで計算結果を示していきたいと思います。

まず荒川の計算結果で、対象は治水橋42KPとその上流の熊谷の計算結果を示していきます。

（スライド17）上の図が2007年9月の出水で、左側が熊谷、右側が治水橋、黒い点が観測値です。ヒゲ図といいますけれど、観測値から青い線が出てまして、6時間先まで予測しています。下の段は違う出水です。熊谷は予測が上目に出たり、下目に出たりしているのが分かるかと思います。一方、その下流の治水橋だと、比較的よく合っているのが分かるかと思います。下流ほど洪水波の河道伝播による予測に支配されるから、予測のばらつきが小さいということになります。この手法の特徴として、特に川の下流部では安定した予測ができるようになります。荒川以外でも109水系全部のこの手法の検証を見ているところですが、上流では予測が暴れやすいけれども、下流では比較的ばらつきのないような予測ができるというような傾向が出ています。洪水予測のモデルが適切にできているかどうかの判断をする際にこのような見方をしています。

（スライド18）次にこの上段の図は、荒川の治水橋ですが、黒い棒が実績の雨量で、青い線が予測雨量です。それに対して中段の図は、実績雨量を与えた場合の予測で、下段の図は予測雨量を与えた場合

の治水橋での予測を示しています。予測雨量がこれだけ違いますが、計算結果はほとんど変わらない。洪水の河道伝播による予測の影響が下流部であるため支配的であることから、予測雨量が若干違ったところで、大きくずれた予測をしないという計算ができるようになっています。

（配布外スライド1）次に、山国川での計算結果をお見せします。

（配布外スライド2）水害リスクラインを用いた計算結果を説明します。これは2018年7月6日なので、西日本豪雨のときの計算結果です。この図は18時半の現況計算の結果で、このときこの地点で危険水位を超過するというような計算結果になっています。ここに柿坂という水位観測所がありまして、そのとき、氾濫危険水位に到達していました。氾濫危険水位というのはどうやって設定されているかという、まず水位観測所の受け持ち区間というのがあり、その中の危険箇所に設定されている危険水位を水位観測所地点の水位に換算して、氾濫危険水位としています。その氾濫危険水位の設定と整合のとれたような形でリスクラインの色がついています。

また、こちらの図はこの時点から3時間後を予測したものです。下の図は9時半で、同じ時間の現況値を出しています。リスクラインで見比べると、水位そのものではなくて危険度を、幅という形で示していますので、数値で見たらまったく一致するわけではないのですが、だいたい同じようなリスクラインになっており、概ねうまく予測できているのではないかと思います。

（配布外スライド3）この図は、山国川の柿坂という水位観測所での予測結果のヒゲ図を示しており、上段の図が事務所で実際に運用している分布型モデルを使った予測結果で、下段の図が新しい洪水予測手法による結果です。山国川自体は非常に川も小さいし、急峻な川であるということで流出が早い

で、なかなか河道の洪水追跡の効果は出ないのですが、上段の図がヒゲの暴れ方が高く出たり低く出たりしているのに対して、下段の図は、ヒゲが暴れるのを抑えられて計算できているのが分かるかと思いません。

この新しい洪水予測手法でも河道の効果はなかなか出にくいですが、それでも予測雨量の誤差の影響を抑制するような予測ができているというのが分かるかと思えます。

(配布外スライド4) 荒川の熊谷・治水橋地点について、横軸がリードタイム、縦軸がRMSEをとっています。緑が今回の新しい予測手法で、青が現行で使っている分布型流出モデル等を使用した洪水予測となっています。現業のものよりも精度が高くてできるということと、新しい洪水予測手法では、誤差の大きさが頭打ちになるような感じになっていました。何でこうなるのかというのを今後、分析するところです。

(スライド19) 新しい洪水予測手法でうまくいっているところもあるのですが、いろいろと課題もあります。実務上、観測値から予測水位が出るほうが望ましいのですが、データ同化技術を使っても、予測の初期値を観測水位と一致させるということは難しいです。そのため観測地点においては、観測値を使ってスライド補正をして、観測値から水位が出るようにしています。しかし、リスクラインは200m間隔に水位を出してしまっていて、観測水位がないようなところでは補正ができない。つまり、水位観測所の危険度と、水位観測所ではない地点の危険度で違いがあるということになります。なるべく差が出ないようにチューニングをやっているところですが、縦断水位補正手法が必要となります。手法については、目処がたってきたところで、今後導入していくことを考えています。

(スライド20) もう一つの課題として、ダムとの

連携です。現在109水系の洪水予測モデルをつくっていて、ダムは操作規則をモデル化しています。この図は、黒が操作規則の場合の放流、赤が実際の放流を示しており、実際と操作規則が必ずしも一致するわけではなくて、これがダム下流の水位予測の精度に影響を与えてしまいますので、ダムの放流計画などを取り込めるような、ダム操作と連携した洪水予測の仕組みを検討しているところです。

(スライド21) ここからは10水系を運用してきた中での課題について説明します。

(スライド22) この新しい洪水予測の河道モデルの断面データは定期横断測量を使っていますけれども、そういうデータがない区間もなるべく河道モデルを導入するというので、データがない区間はLPデータを用いて河道をモデル化しています。そのときの河道断面データは中小河川の治水安全度評価において作成した断面を使っているのですが、断面データは洪水予測に用いるという目的ではなかったところもあり、直轄区間の定期横断測量の距離票と整合がとれていないとか、LPデータは水の底を測れないので本来水面のところを河床になっているというようなことで、計算不安定を引き起こすというような事例がありました。この新しい洪水予測手法は、河道モデルを積極的に使っていくというところなので、今後、グリーンレーザーとか、そういうものを使って、品質、精度の高い断面データを整備していくことが重要だと思っています。

(配布外スライド5) ある出水で、リスクラインでは危険水位を超えたけれど、実際はそこまで上昇しなかったという指摘を受けました。確認したところ、河道の改修をしたばかりであって、最新の断面データを使ってはいたのですが、最新の断面データ自体が改修前の断面であったため、実際と計算で差異が生じておりました。逆に、河道改修の効果がよく分かったところでもありますが、洪水予測の精度

を維持していくためには、河道の変化を適切に洪水予測に反映していくことが大事だということを感じました。

(スライド23) 距離票の話ですが、74KPの距離票データの次は76.4KPであったので、その間が2.4km離れているものとしてモデルをつくったところ、この区間を含めた前後で水位が過大となりました。この距離票を地図上に落とすと、100m程度しか離れていない。これは昔、河川が蛇行していて、それをショートカットしたため距離票が詰まっている、というようなことがありました。距離票の管理というものも適切にやっていく必要があると思ったところです。

(スライド24) 河川の緩勾配の区間で、データ同化を導入すると計算不安定が生じたということで、観測水位を縦断的に図化したところ、10~20cm程度であるのですが水位が一部の区間で盛り上がるような水面形となっていて、0点高に誤りがあるのではないかということで確認しているところです。縦断的な整合性を確認して、観測水位を照査・管理をしていくことが大事であると思ったところです。

(スライド25) 最後ですが、今回の新しい洪水予測というのは、解析技術、データ同化技術、観測技術で構成されています。予測雨量、潮位予測を取り込んで縦断水位を予測して、リスクラインとして表示していることとなりますが、各技術を高度化しつつ、特に解析技術のベースになる地形測量技術により、河道の状況を適切に測るということ、観測技術で川の流れを適切に把握する取り組みが重要であるということです。

以上となります。ありがとうございました。

<質疑応答>

司会 ご講演ありがとうございました。

それでは、本日の講演につきまして、質疑応答に

移らせていただきます。本日の講師どなたに対しての質問でも結構です。質問のある方は挙手をお願いいたします。挙手のある方はマイク係がマイクを持っていきますので、それまでお待ちください。

それでは、質問のある方はいらっしゃいますでしょうか。

質問者1 本日は、貴重な時間をありがとうございました。

土屋さんに質問なのですが、洪水予測の関係でお聞かせ願いたいのですが、弊社では、新潟県に宮中取水ダムという利水ダムを管理しております。今後全国の水系に対して、こういう河川水位の予測というのを公表していくというお話でしたが、この洪水予測のデータというのは、水位だけじゃなくても、流量のデータとかということも公表される予定があるのかということをお聞かせ願いたいのですが。

土屋 公表というのは、こういうウェブ上で出すというイメージなのですか。

質問者1 ウェブ上で公表です。

土屋 数値で出すとかということではなくて、どういった意味の公表を言っているのでしょうか。

質問者1 おそらく「どの地点に、このぐらいの水位が、何時間後に来ます」とか、そういったものを公表していくのかなと思ったのですが、その水位に対して流量みたいなところも。「何時間後にこの流量が来ます」というのはどうなのかなというところですか。

土屋 今、このリスクラインは避難のために使ってもらおうという目的でやっているのですが、水位で出していくのが前提となると思います。ただ、当然計算するときには流量も計算しておりまして、これはちゃんと保存されるような仕組みになっています。ウェブ上で流量がというのは分かりませんが、一応109水系全河川、河道モデルを組んでいるところであれば、流量も計算して、そのデータは保存されているというふうになっています。

質問者1 分かりました。ありがとうございました。

司会 ほかにご質問はございますでしょうか。

では、すみません。私から1つ、福島室長に質問があります。水位の情報から、川の中というか川の実力を読み解いていくというのは、私は非常に新鮮に、初めてそういうことが可能なかというふうにも思いました。今回セミナーのタイトルが、「河川の実力を読む技術」であるのに対して、福島さんの講演の題が「水位情報から読み解く技術」。「読み解く」ということで、単に「読む」だけではなくて「読み解く」というのは、結構深いなというか、やはりさすがに水位情報から簡単に読めるのではなくて、そこには読み解くという、ひとつの河川工学の知見というか、経験というか、そういうものが必要だということ、この「読み解く」というところに込められているのかなという気がしたのですけれども。お聞きしたいのが、こういう「読み解く」というところは、どれぐらい一般化されるのか。誰にでも読み解けるのか、あるいはやはり福島さんぐらいでないとなかなか読み解けないのか、どれぐらいの修練を積むというか経験を積むのか。あるいは知識を積み読み解けるようになるのでしょうか、という質問でございます。

福島 質問ありがとうございます。そんな、修練を積むほどじゃなくても良いのではないかなと思っております。すみません。そこまで言葉に意味を込めたつもりはなかったのですけれども。ひとつ大事なものは、この図（福島 スライド25「摩擦速度と代表粒径の関係」）と思っております、セグメント1だけの話になってしまうかもしれないのですけれども。この図が大事ななと思っているというのが、改めてですが、やはり日本の川って、掃流力、川底にかかる力とそこの粒径というのは決まっているのだなという。本当にこれをひとつ知っておくかどうかという話。あと、ここのある材料の厚さというのを今あまり意識しないのですけれども、結構厚さが足りなくなっている川はいっぱい出てきています。それが河床の体力の実力ではないのかなと。そういう意味で、読み解くというのはそんなに頑張らない。修練しなくても、この図面とあともう1つこの図面

（福島 スライド26「鬼怒川の地質縦断面」）、この2図面ですね。あとの図面はどうやって書かかって全然お話ししませんでしたけれど、堤防を詳細点検でやって、ボーリング調査をいっぱいやっていると思います。2、3kmに一遍はボーリング調査をやっていると思います。そのボーリング調査のデータを縦断面図、縦断面図もこれはかなりざっくり書いていますけども、土質の世界の読み方はかなり熟練者が読んだという、その読んだ後の成果を使わせていただいて、あとはちょっと見えにくいですが、赤い線で最深河床高が書いてあって、今の河床材料、今さっき言ったある掃流力に対する粒径がこの場所ではこのくらいの厚さがある。一方こちらの場所では厚さがない。この川底、この下がもし粘土層みたいなものだったならば、実力的にというか洗堀に対して弱くなっている。それが川の河床の体力の実力じゃないのかなと思っていて、この2つぐらいは見ましようねというところにメッセージに込めたかったので「読み解く」などという言葉を使ったのですけれども。この2つを覚えてくださいという、それだけです。

司会 ありがとうございます。

それでは、ほかにご質問等はございませんでしょうか。皆さん、ふだん管理されている方、あるいは業務を受けていろいろとやっている中で、自分の悩んでいるところで、こういうところが使えるかもしれないとか、あるいは自分が分からないのだけれども、ここはどうなのだろうかというご質問ですとかあるかと思うのですけれど。

質問者2 福島さんに。1つ目が、スライドでいうと9番目のスライド（の右下のグラフ）ですか。洪水のピーク流量か洪水継続時間と、それと平均河床高の変化量。これはだいたい川において、これから整備していく格好になりますか。そもそもある程度勉強されている情報なのか、まだアイデアレベルなのかという、今の全国の河川の状況がどんな感じかというのが1つ。

それと、スライドの28番目なのなのですが、音更

川ですか、左下の写真ですね。ご説明の中では、繰り返し3回やられたというお話がありましたけれども、先ほどのセグメントの上流のほうは分かったのですけれど、セグメント2の領域で側方侵食が防護ラインを越えてやってきそうなところがどうかというところについて、専門家が5人、6人、10人集まって議論すれば、だいたいその川で、セグメント2で、この湾曲の状態、平均河床の変化を見れば、ざっくり感でここだよねというのがおおむね分かるのかどうか。すごくざっくりした質問で申しわけないのですが、教えていただければと思います。

福島 ありがとうございます。すみません、1つ目のところは、まだまだこれはアイデア段階で、今回事前にこういった議論をいただいて、改めて河道管理基本シートを考えたときに、河道管理基本シートってこっち（福島 スライド8「変状の進行を予測する上でキーとなる視点（じわじわ進行型）」）しか言っていないなと思って。私の感覚ではこちらしか分からないなと思って、じゃあこういうの（福島 スライド9「変状の進行を予測する上でキーとなる視点（特定イベント時進行型）」）はどうするんだらうなと思って考えたときに、こんな表、こんなグラフをつくらないと、ちょっと厳しいかなと思って考えてみたというものです。すみません、まだこのデータをこれから集めていかなければいけないなと思っているところです。さらにこれ（福島 スライド10「変状の進行を予測する上でキーとなる視点（特定イベント時完結型）」）はまだまだだと。

もう1つの音更川の話は、これはごめんなさい。ちゃんと説明しなかったのですけれど、ここも実はセグメント1でして、勾配もやっぱり100分の1ぐらいの、非常に急勾配な場所です。セグメント1といっても、少し高水敷を整備しているようなところ。例えば、音更川では立て坑などを入れて、防護ラインというアイデアで河岸を守ろうとしていますけれど、やはりどうしても経験則になってしまっていますよね、堤防防護ラインというのも。

既往最大の侵食幅でやったりだとか、セグメント1だったら『だいたいこのくらいで良いだろう』というのを、過去のデータをプロットして決めてやっているわけです。けれども、やはり洪水がこれだけ頻発する時代というのでしょうか。何度も何度も来る時代に、本当に防護ラインはそれだけで良いのかというのは、改めて考えさせられる事例だったのでここにこう書いたのですが、実は侵食幅だって本当にそれで良いのかといたら、川の形が昔とは変わってきていて。例えば鬼怒川の直角流れじゃないですけども、中小河川、中小洪水時に減水期に直角に堤防に当たるような流れとかも生じてきたりしますので、まだまだそういう予測できない流れとか、侵食の幅とかが出てくる可能性があるのも、そういったものにどう対応していくのかというのは、少しまだまだかなと思っています。答えはないので、先ほど申し上げたように、これからみんなで考えていく必要があるのではないかとということで挙げさせていただいた例になります。

質問者2 どうもありがとうございました。

司会 ほかにご質問はございませんでしょうか。

藤田 河床変動計算は、すごくたくさんあって、一次元もあれば、二次元計算もあり、計算手法としては充実してきている。

福島さんに今日お話しいただいた「読み解く」という中で、計算というのはどれぐらい使えるものなののでしょうか。例えば、川底で普通に石ころが連なっていれば、計算してここが掘れるということがかなり分かるのではないかと。もしそこに、下に岩が埋まっていれば、そこまで掘れたら岩が出るとして、というように、複雑な河床でもある程度行ける面もあるのかなというふうに思ったものですから。この質問の背景は、システムティックに機械的に判別できる部分と、やはり川のありようを深く読まなければいけない部分が、もう少し仕分けできると、作業としてしやすくなるのかなと思ったものですから。そういう意味で、計算に対する感触をお聞かせいただければと思います。

福島 ご質問いただきありがとうございます。非常に答えにくいような気がします。多分、皆さんそれぞれ、過去に洪水量の計算だとか河床変動計算に携わってきた方は、それぞれの思いを持っているかもしれないと思いますが、私の感覚ではなかなかやはり河床変動計算は合わないなという感覚を持っています。なぜ合わないかといえば、堤防の設計ですから、堤防の中は不確実だとよく言われますが、私たちが盛ってきたものですら不確実だと言われているのに、さらに川の中なんて、川がこれまで自然につくった材料できているところなので、材料がそもそも分かっていないというのが、計算結果の何というか不確実性を高めているところなのかなと思っています。CommonMPやiRICなどソフトウェアは随分発達していて、計算はできるようになってきているとは思いますが、まだまだ定性的な域を出ていないかなと思っています。掘れるところや、堆積するところといった傾向分析には非常に有効だと思っているのですが、やはり物が壊れるかどうかという、今回の点検に照らし合わせて申し上げますと、その外力としての掃流力、そういう利用としては良いと思うのですが、河床材料が、河床がどれだけ動くかどうかということに関しては、まだまだ「使えます」というふうには言えないかなという感触を私は持っています。もしほかのご意見をお持ちの方がいれば、お聞かせいただければと思います。どうもありがとうございます。

司会 ほかにご質問はございませんでしょうか。

質問者3 すみません。お2人に。まず福島さんの話は、ある意味で非常に研究とか実例の蓄積が進んだなというふうに思っておりまして、現場で実際に河川管理をすると、特に先ほどの摩擦速度と代表粒径のところに尽きるなと思います。（私は）古い人間なのですが、昔は河川の管理をするときに、どこがどのぐらい勾配があってとか流量がどうでというのは、だいたい頭に入れて管理していて、経験的に今日の洗堀の話だとか河床の話をやっていたのですが、それを定量的に摩擦速度との関係で言っていた

だいたということ、多分もっと使える幅がより明確になったと聞かせていただいております。そういう意味で、研究といとなかなか真実追求で大変なのですが、管理の実態、現場の管理という意味では、非常に強い応援を提供していただいたのではないかなと、こんなふうに思っておりますので、ぜひ進めていただければというふうに思います。

もっと言うと、閾値とまでは言えなかったものを閾値的な要素を入れていただいているということではないかと思えます。分かりやすく言うと、さっきの高水敷の側方浸食ですけど、あれは河床材料を考えて幅を決めているわけではないですよ。過去の単なる実績で、一出水でどのぐらい（浸食によって）飛んだかと。だから、当然河床材料を考えれば、高水敷は動くという前提でものを見るとか見ないとかというそういう入り口がものすごく変わりますので、そういう意味でも実際の管理の応援にすぐくると思っています。聞かせていただきましたので、ぜひこれは引き続きお願いします。

それから、土屋さんはちょっと気になったのは、水害リスクラインで計算したものと、それから実際の値が違ったという指摘を受けたと。河川の場合は何か相当厳しい要求にこたえないと物が使えないみたいなどころがあるのですが、今回やられたのは、そういう意味では、水位観測所しかないところではなくて、その中間の評価を計算でシミュレーションで出すという、すごく圧倒的な今までできなかったことをやっていただいたのですが、それが観測値との比較において精度を言われてしまうと非常につらいわけです。そこの違いをもっと明確にしながら使っていくところをぜひ進めていただきたいなと思います。そうでないと、「合わないからだめだ」というような変な議論がいつも通り出てくるのではないかなと思います。情報量として、革新的な新しい情報を使えるようになったなとそんなふうに思っております。ということで2点、本人は応援演説のつもりですが、よろしく願います。

司会 ほかにご質問はございませんでしょうか。よ

ろしいでしょうか。

質問者4 ご講演ありがとうございました。福島室長のご発表の中の、確かこれはスライド16でしょうか。「改修に伴う水位縦断形の変化」というグラフがあります。洗堀で被災したというところの、なぜそこが洗堀したかということのご説明をしていただいて。結局下流の堰を改修した結果、水面勾配が非常にきつくなって洗堀したというご説明でしたが、単純になぜそういうことをしたかという、堰が一緒になって水位が高かったので、計画高水位から下げのためにそこを改修したということだろうと思います。だけど手順が悪かったんだということになると思うのですが、河川というのは、河川整備計画というのをいろんな川全部でつくり、だいたいは何とか水位を下げようということで、事業メニューがたくさんつくられているわけです。この事例の反省からすると、施工手順というのでしょうか、細かくどういう順番で施工していかないといけないかというようなことをかなり詳細に詰めて、被災箇所が暫定的であれ一時的であれ、被災する可能性があるようなところが生じないように、施工手順をきめ細かく考えていくということが大事なんだと思います。（今回のように）被災してから分析すると、「そうだったね」というのが分かると思うのですが、事前に整備計画みたいな段階で、こういうことを把握していくというのはなかなか難しいのではないのかなという気がいたしますけれども、そんなことは言わないで、「しっかり整備計画段階でこういうこ



とまでやるのだ」と、又は「今でもやっているのだ」、ということなのかどうか、そのあたりをご教示いただきたいと思います。

福島 ご質問いただきありがとうございます。まさにおっしゃる通りかなと。計画段階では、難しいと思います。なぜかという、計画というのは、どちらかという、大枠を決めているようなものなので、細かく整備手順まで決めるようなものではないというふうに私は認識しています。

一方で、先ほどセミナーの最初の方で藤田所長からもありましたけれど、最近、川の状態がとれる機会がすごく増えてきたと思うのですね。三次元データにしる、UAVLPだとか、高速航空LPだとか、あと堤防の除草機のLPだとか。ありとあらゆる三次元データを簡単にとれるようになってきている。そうすると、計算も計画ほど精度は要らないのですが、前後でどう変わるのかぐらいの計算で良いと思うんですよ。例えば、勾配が変わるかどうかがいいだったら、「粗度係数は計画で使ったものを使ってしまえ」というのも良いじゃないですか。そういうぐらいの計算で良いので、どう変わるかというのを簡易で出せる。ソフトウェアもiRICだとかCommonMPだとかいろいろと出てきているので、水位計算をしてみて、どう水面形が変わるかということをチェックするということを施工時なんか1つ入れるということをやると、見落としがなくなるのではないかなと考えております。そういうふうにもっていけると良いなという気がしています。

司会 ほかにご質問はございませんでしょうか。

藤田 すみません。最初に「ねらい」をしゃべった藤田でございます。福島室長、土屋主任研究官、ありがとうございます。川の実力を読み解くという時に、最初に私がお話ししたように、「堤防であれば、まだまだ技術的に難しいので、今の変状をしっかりと見て評価しなさい、これを基本にしましょう」となっている。これはこれで今しっかりとやっけていて良いと思うんですね。

その上で、冒頭に申し上げたように、次のステッ

プに行くためには、特に河道関係での問題だとか、川に接した護岸とか、そういう構造物については、洪水の時にどうなるかということをやはりしっかりと見なければいけない。そういうことで今日、福島さん、土屋さんにそこにかかわるお話をいただきました。

先ほどのご質問も、整備計画を立てる時と、管理の段階での評価とあるのだけれども、やはりその間にブリッジをもう少し太く架けなければいけないとか、おそらく、管理という側面において良い意味でルーチンでやりながら、「さて、この状態でもし洪水が来たらどうなるのだろう？」ということも、もう少し簡易に、シンプルに評価ができるようになるとなお良い。そういうことが次のステージで求められていて、今日はそういう意味で、洪水の理解が少し進むような技術、つまり、洪水の特徴を、水面勾配とか $u^* \sim d$ （摩擦速度～河床材料粒径）関係という比較的シンプルな技術情報から読み解く、そのヒントをいただけたというふうに思っています。

次回は、まさに、「物がどう壊れるか？」ということが主テーマになります。そのことが、今日のような外力の話とつながって、最終的にこのセミナーの一貫したテーマとして、3回目で全体的な理解が深まればと思います。それから、先ほどは言い忘れましたが、3回目は佐々木さん（佐々木哲也 国立研究開発法人土木研究所 地質・地盤研究グループ 土質・振動チーム上席研究員）という、まさに堤防の地盤工学からのアプローチのプロにも来ていただけるので、今日はパイピングの話が出ましたけれども、「さて堤防が、高い水位まで来たときにどうなのだ」ということを、ここまで来た色々な技術の進展も合わさって、それをどこまで読めるのか、逆に何をさらにしなければいけないか？ということもあわせて、3回目のセミナーで議論できれば、そして、トータルで川の実力を読む技術のあり方について理解を深める機会になれば、と思っております。ご興味のある方は2回目、3回目それぞれにまたご参集いただけるとありがたいです。

締めめの解説をさせていただきました。

司会 今、第2回、第3回のご案内がありましたけれども、既に2回、3回目とも募集の方を開始しております。河川財団のホームページから申し込みのほうができるようになっていきますので、皆さまふるってご参加よろしく申し上げます。

それでは、最後にいま一度本日の講師の皆さまに対しまして、皆さまからお礼の拍手をいただければと思います。本日はどうもありがとうございました。

令和元年度

第2回 河川研究セミナー

前回のセミナー内容について

司会 公益財団法人 河川財団 戦略的維持管理研究所 所長 田中敬也

構造物の変状・被災はどのように起こったのか

諏訪義雄（国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川構造物管理研究官）

開催日：令和元年8月27日（火）

場 所：AP 秋葉原

前回のセミナー内容について

司会 公益財団法人 河川財団 戦略的維持管理研究所 所長 田中 敬也

司会（田中） それでは、定刻になりましたので、ただいまから令和元年度第2回の河川研究セミナーを開催させていただきます。

私、本日の進行役を務めさせていただきます、当財団の戦略的維持管理研究所の田中でございます。どうぞよろしくお願いいたします。

皆さま方におかれましては、本日はご多忙の中、当河川研究セミナーにご参加をいただきまして、誠にありがとうございます。

本日は、「構造物の変状・被災はどのように起こったか」というタイトルによりまして、国総研河川研究部の諏訪さまからご講演をいただく予定となっております。

講演に先立ちまして、まず簡単に5分程度、前回のセミナーについて振り返ってみたいと思います。

当河川研究セミナーは、毎年1つのテーマでいたい3回連続でセミナーを行っております。

本年度は、「河川の実力を読む技術 ～河川の維持管理を原点からみつめる～」というテーマのもと、第1回を先月7月29日に開催しております。

簡単に、前回7月の内容を振り返ってみたいと思います。

（opスライド1） 前回は4名の方々から発表いただきました。

（opスライド2） まず、最初に今年度の「本セミナーのねらい」といたしまして、当財団の河川総合研究所所長 藤田（光一）から説明をいたしました。



今年度のセミナーのタイトルにある「河川の実力」というのは、ある洪水が来たときにその川が破堤に至るかどうかを見きわめる技術であって、そのときには2つのことが重要である。1つは、流下能力ハイウォーターを超えるかどうか。2つ目は河道構造物が破壊するかどうか。こういうことを、実際にどうなるかというのを評価・判断するというのが河川の維持管理のランクアップにつながっていくという趣旨の内容でございました。

このねらいのもと、3人の方からご講演をいただきました。

（opスライド3） 1人目は当財団の上席研究員 山本（嘉昭）から「堤防点検の実態と課題」といたしまして、現在、堤防点検がどのように行われているか、それからどのような課題があるか、ということについて発表を行っております。

現状の堤防点検というのは当然なのですが、平常時の堤防及び河道の状態・形状を確認・評価しているというのが現状であって、今後の課題としては変状のみではなくて、さまざまな情報、その河



道がどういう状況なのかというようなことも合わせて評価する必要があるのではないか。当然、平常時の評価なのですけれども、洪水時の変化を踏まえた評価が必要である、という内容でございました。

(opスライド4) 2人目、メインの講演だったのですが、国総研の福島(雅紀)室長からは「水位情報から読み解く河道の状態」ということで、大きく分けて3つのことについてご発表いただきました。

1つ目は、河道の変化パターン。図に書いていますような3つのパターンごとに河道を読み解く現状についてご説明がありました。左端図のような「じわじわと河道が変化していく『じわじわ進行型』」については、例えば九州整備局で整備をやっていますような「河道管理基本シート」のような取り組みで読み解けるだろうと。それから、「特定のイベント、洪水のときに変状が進行する『特定イベント時進行型』」については、洪水時の変化量と洪水の関係を整理していくことで読み解きにつながっていくのではないかと。最後の『特定イベント時完結型』というのは、現在、そもそもどう測るかというところから課題であると。

2つ目の内容といたしまして、改修によって水位縦断変化が起きるということを管理に反映させることが重要であると。これは例えば、堰の撤去とか堰の可動化を行ったり、あるいは砂州の掘削を行うと水面勾配が急になって、それがもとになって河床洗

堀ですとか護岸の破壊に至るケースがあるということで、この中で、福島室長からはこの後述べます水害リスクラインに対する期待が述べられました。

3点目ですけれども、九州北部豪雨の事例ですとか多摩川の事例をもとに、河床洗堀に対しては河床材料の粒径と層厚が重要であるというご講演でした。

(opスライド5) 最後、国総研の水循環研究室の土屋(修一)さまからは、最新の取り組みといたしまして、新しい洪水予測手法「水害リスクライン」についての紹介がございました。

これは、河川の水位が縦断的に危険度の評価ができるという最新の取り組みでして、先ほどの福島室長のご講演での水害リスクラインが、現在は危機管理的な水防ですとか危機管理にしか用いられていないのですけれども、河道のもうちょっと広い管理に使えるのではないかと期待が寄せられました。

ということで今回は以上の4名のスピーカーからの発表でした。

本日はいよいよメイン、河川の構造物の変状と被災がどうなるのかということにつきまして、実際の事例を踏まえながら、国総研の諏訪さまから講演をいただきます。

それでは、諏訪さまよろしく願いいたします。

構造物の変状・被災はどのように起こったのか

国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川構造物管理研究官 諏訪 義雄

諏訪 紹介いただきました諏訪です。内容をすごく詰め込んでしまい急いでというか時間がないので本題に入ります。

(スライド2) これは、予告に書いてあった内容です。

(スライド3) これに対して、私は今日、7つの構造物について話したいことを持ってきましたので、それぞれでご紹介していきます。

< 1. 1 護岸被災実態 (中規模洪水) >

まず「護岸」についてです。最初は、1年間に起こった災害復旧の資料を眺めたときに、こういう特徴があったという話をさせていただきます。

(スライド4) まず、資料の種類といいますか内容ですね。これはどういう位置づけのものかということを見て洪水規模という観点で見ました。本当は全部見れば良いのかもしれませんが、中でも一番大きい影響が出る堤防に関連するところについての洪水規模のデータをいただけたところから見てみますと、だいたい10分の1とかそれぐらい以下のものが多く、ざっくり言うと中小規模の出水のものを見たということが言えるかなというように思っています。

(スライド5) それで、これが核心なのですが、護岸の本体の被災というものがどういうものかというのを見たときに、これは平成元年でもう30年も前の話ですが、多分今もそんなに基礎からの破壊は減っているぐらいではないかと思うのですが、



主に2つ。4分の3ぐらいは2種類に分けることができるということですね。

一番左側の「基礎からの破壊」というのが4割ぐらいありまして、それ以外にあと施工範囲の不足ですね。「施工範囲が十分あれば(免れた可能性がある)」という破壊が多いということでもあります。それ以外の劣化というものも当時からありましたけれども、この2つがメインであるということです。

その中でも、基礎からの破壊の中の内訳を見ると、「河床低下傾向」にあるところが半分近くを占めているということが言えます。

(スライド6、7、8、9、10) 代表的な破壊の絵ですね。基礎からの破壊だとか、上流・下流からの侵食の破壊だとか、流体力が関連しているものとか、それから天端から破壊したものとか、そういった代表的な写真を載せています。

(スライド11) こちらが劣化ですね。目地がなくなったとか、かごの鉄筋がなくなったとか、そういうものが主でした。

(スライド12) それ以外に「吸い出し」というように、こういった陥没のようなものが起きているものがありました。中には原因が裏込め材の吸い出しと分かるものや、排水不良といったものがあったということです。

(スライド13) これ以外に現地へ自分が見に行ったときに、雨水排水が護岸の下を抜けているというのがありましたので、そういった写真を載せています。

< 1. 2 縮小水理実験 (洗掘に対する応答特性) >

(スライド14) 次、2つ目は、縮小した水理実験を行いました。

この実験のポイントは、わざと洗掘される場所をつくって、そこに護岸の模型を置いて、どういう応答を示すかというのを見たというものであります。

きっかけは、こういった現地の写真を見ると、同じ基礎からの破壊なのだけれども、少し最後の状態が違うんですね。これはどのように違いが生じるのだろうかということ再現したいという興味でやった実験です。

(スライド15) 左側の写真にある、このような蛇行した水路をつくりまして、水衝部で河床が掘れるところに護岸の模型を置きました。下図のような断面で置いた2種類の模型があり、左側はのり勾配が緩いわゆる張り護岸をイメージしたものです。右側はのり勾配が急な積み護岸をイメージしたものです。

護岸ののり覆工の種類も、胴込めがしっかりとできていて一体性が強いものを左上の写真-2で示していきまして、写真-1は胴込めが少ないものをイメージしたものです。

(スライド16) 結果、基礎からの破壊というものは、やはり下から変状が起きていくということがはっきりと確認できるということでもあります。

(スライド17) それに対して、根入れを十分に

とっておいて、上流端あるいは下流端から侵食を受ければ、このように端っこだけが被災するというようになって、先ほどの写真の分析の裏づけにもなったと思っています。

(スライド18) それから、下からばらばらと崩れていくというパターンの破壊事例もありました。積み護岸でよく見られるものです。

(スライド19) 現地でも、胴込めのない積み護岸ではこのようにばらばらと(石材が)落ちていて、似たようなことが起きていることが確認できます。

(スライド20) あとは、根固めをしっかりと置くとか、周りを囲ってあげると壊れないということが確認できました。ちなみにこれは、のり覆い工の重量が十分確保されているということが前提の実験です。

< 1. 3 大規模洪水被災の現地調査 >

(スライド21) 先ほど紹介したのは中小規模の洪水という話でしたが、大きな洪水が来たときには、まったく違います。大規模洪水が来襲したところでどういう被災が見られるのかということをお話しします。

1つ目は、松浦川の洪水で、左上にあるように既往最大の洪水であったということが特徴です。

(スライド22) 現場に行くと、このようにのり肩のところが侵食されている箇所が圧倒的に多いですね。表の右側のところに「法肩侵食」とありますが、それが「あり」となっている被災箇所のが圧倒的に多いです。上から破壊されやすいというのが特徴でした。

(スライド23) 計画高水位を超えているわけではないのだけれども、被災の規模が大きな事例とし

て、荒川上流の3次支川である都幾川というところの被災が平成3年にありました。この空中写真にあるように、右手の下流側からだんだん改修を進めてきて、改修区間と未改修区間の接点のところで特にひどい被災がありました。

こういった改修区間と未改修区間の接続部で低水護岸の線形を見て分かるように、クランク状の線形となっていたので、右岸側高水敷に洪水流が乗り上げて侵食が激しく起こったとか、それから左岸側の堤防を腹づけしながら拡幅していたのですけれど、拡幅堤防と未拡幅堤防の境界の先端に洗掘穴ができた、そんなことがありました。

(スライド24) もう少し平面図に改修状況と被災箇所を落として見ると、下流側から改修してきて、4.0kmと4.2kmの間で上流側が未改修河道になっているというところなんです。急に狭まるようになっていくというのが特徴ですね。

(スライド25) このときの洪水の痕跡水位をとっていただいています。これを見ると、改修の進捗とともに水面形が急になる区間が上流に移動しています。先ほど規模の大きい被災があったのはこの区間(4.0~4.2km)ですね。この赤いところのまさに水面形が急なところで起きているということでもあります。

(スライド26) それで、その上流側はこのように幅広い堤間幅になっているのと同時に、低水路河岸沿いが高くて堤防に向かってだんだん低くなっているという自然堤防地形ができていました。2mぐらいの高さの自然堤防です。

(スライド27) 洪水末期の写真も撮影されていて、こう見るとやはり自然堤防の地形になっているので、堤防沿いは低いからそこを水が流れているんですね。それが最後、堤防護岸の角になっているところに流れが集まって洗掘されたのではないかと

思っています。

(スライド28) これが現場の洗掘穴ですね。

< 1. 4 実物大水理実験

(基礎浮上りに伴う吸い出し) >

(スライド29) もう1つ、実物大の水理実験というものもやってみました。

実験は基礎が洗掘、破壊する現象を意図したものです。基礎が洗掘されるとどれくらい危ないのか。破壊の速さを見たいと思って実験したものです。

写真にあるこういう大きな水路の中に、高さ2m強の積み護岸の模型をつくりました。護岸基礎の水路床からの浮上高を20cm、10cm、3cm、5cmと変えて造りました。ちなみに、裏込め材の粒径は3cmなので、この3cmのところは余り被災しないのではないかと予測していた実験です。後で出てくる通水後の写真ではっきり分かるのですが、護岸基礎の水路床からの浮上高は、20cmも10cmも5cmも全部後ろの土砂が抜けているというのが分かるかと思えます。

(投影資料のみ) この模型は実際の工事と同じように造りました。護岸背面に標高毎に色をかえた碎石を入れながらいろいろ細工もしております。

(スライド30) 通水はこのように10分流して、10分流して、30分流して、120分流す、ということを行いました。流速は大体6m/sとか6.6m/sとか出ていますので、かなり上流の急流河川をイメージしたものだと思ってください。

※セミナー記録編集者による注記

(投影資料のみ) と表記されているスライドは、各講師の判断により当日の配布資料に掲載されていない資料です。一部、掲載の許可を頂いた資料については(配布外資料)として図面集に掲載しております。

(スライド31) 左側は先ほどの写真(スライド29)と同じですが、より詳しく見ますと、このように水路床からの浮き上がり高さが大きいほど後ろの土砂が抜けている量が多いというのが写真でも分かるかと思えます。

(スライド32) それをグラフにしたものがこちらですけれども、やはり基礎の浮き上がり高が大きいほど、背面土砂が抜けている量も多いということがはっきりと分かります。

(スライド33) これが1回目の通水の写真です。10分の間に3カ所(水路床からの浮き上がり高20cm、10cm、5cm)はもう全部後ろの土砂が抜けて陥没し始めたことが確認できました。

(スライド34) それから、後ろにこのような原始的な錘で、背面土砂が陥没してくるとセンサーが反応する装置を作って、「錘センサー」として設置しました。

(スライド35) 「錘センサー」で測った結果がこちらで、上のグラフほど横軸の時間が短くなっているというグラフです。一番上の水路床からの浮き上がり高20cmのグラフは、最初の20分間で(錘センサーは表面が最初に反応します)あっという間に壊れること、次に水路床からの浮き上がり高10cmの護岸が壊れやすいこと、その次に水路床からの浮き上がり高5cmのものが壊れやすいこと、水路床からの浮き上がり高3cmの護岸はセンサーが反応していないことが確認でき、水路床からの浮き上がり高によってはっきりと破壊の進行速度に差があるということが分かります。

(スライド36) このスライドは横断面図で示したのですが、護岸の背面土砂の抜け方が、このように川表側の水路床と基礎の隙間から抜けてくる。背面土砂表面の陥没が生じ、だんだん奥に崖が下がっていくという状態になっていくので、表面のセン

サーが最初に反応するというものであります。

(スライド37) それから水路床からの浮き上がり高3cmの護岸は、通水終了後には何ともなかったように見えたのですが、その後10日ぐらいしてから雨が降りますと、背面土砂の陥没が発生しました。実は背面土砂の下部分に空洞ができていた状態であったことが分かりました。これ(左の写真)が通水直後です。その後、雨が降ると、この(右の写真)のように抜けていました。

(スライド38) 陥没発生後に測定した形状がこのスライドになります。

< 1. 5 護岸被災分析 A川道路兼用護岸被災 >

(スライド39) 次に、水衝部が洪水規模で変わるという話をしたいと思います。

図は、ある川の道路兼用護岸なのですが、蛇行している河道でした。2年連続で災害がありまして、最初の平成10年のときの災害の下流側でまた災害があったことがありました。このように道路が陥没した災害でした。

(スライド40) 洪水の規模が違っていきまして、平成10年は大体2.3mぐらい水位が上昇する規模であったのに対し、平成11年は水位上昇量3.4mと平成10年にプラス1mぐらい高くなるという洪水規模でした。

(スライド41) 現地で復旧する際に水替えして、どこまで崩れたものが入っているのかというのをしっかりと調べてもらいましたので、洗堀の深さが分かります。

(スライド42) その洗堀の深さと曲率半径というものとの関係について既往の知見と比べて説明できるのだろうかということを整理したのがこちらの図です。曲率半径÷川幅比と最大水深と平均水深の差というグラフに入れてみると、外れてはいなくてやは

り傾向としては合っているということが分かります。

何が言いたいかという、洪水規模によって水衝部は変わるので、そこは注意してほしいということです。

護岸については以上です。

< 2. 1 被災実態 >

(スライド43、44、45、46) 次が、護岸を守る「根固め工」についてです。根固め工は主に2つ話そうと思っていますが、1つ目が被災実態です。こちらのほうでは余り言えることがなくて、分かったことは、河道特性によって工種がはっきりと別れるということです。

< 2. 2 応答特性 (水理実験) >

(スライド47) 2つ目の水理実験で、概ねどのように沈下していくのかということが分かったのでご紹介します。

実験は、図のように川幅を急に狭めて、河床が掘られるという状態を創って、そこへ根固め工の模型を設置して、変形や移動の推移を見るという実験でした。

(スライド48) 細かいグラフになりますが、背景が山本晃一さんがつくられている粒径とそれから U_*^2 のグラフで、セグメントごとの関係に対してこの水理実験がどういう位置づけだったかということ、この U_*/W_0 と、 τ_* でざっくりプロットしたものです。図から、主としてセグメント2-2とか、3に当たる水理条件を実験したつもりだし、それからかなり下側にプロットされているH5の実験については、 τ_* で見れば、セグメント2-1程度の水理条件の実験をやったのかなと思っています。

(スライド49) 連結層積みという根固め工の種類がありまして、それがどのように変形するかというグラフがこちらです。このように安息角に近くなる

ように沈下していくということが分かったということです。『護岸の力学設計法』にもよく載っている図にまとめられている根拠の1つがこれです。

(スライド50) 現場でこういう施工をしているのかは分からないのですが、吸い出し防止材を下に敷いたときには斜面角度が安息角にならなくて、より急になっている場所もありました。このようなものは敷設幅や重量設計の前提と異なる現象なので要注意かと思い紹介しておきます。

(スライド51) 次が、非連結層積みではどのような移動・変形の特徴があるのかということです。これはケース番号(1~5)が大きくなるほど水理量 (τ_* 、 u_*/w_0) がだんだん大きくなっていくことなのですが、そうすると最終形状もブロック間隔が狭くなっているというのを見てお分かりいただけるかと思います。

(スライド52) このスライドでは、1個1個のブロックがどのように沈下しているのかを追いかけたものになります。やはり個々のブロックも安息角で落ちているということがひとつ分かりました。

(スライド53) これは同じ非連結層積みだけれども、水理量 (τ_* 、 u_*/w_0) が違うケースです。先ほどのスライド52は浮遊砂があまり激しくない水理量の実験だったのですが、こちらはもっと厳しい水理条件でやりました。それでも個々のブロックは浮遊砂が激しくない水理条件と同じように安息角で落ちているのではないかと思います。

(スライド54) 非連結層積みの移動・変形を概念図にすると、こういった個々のブロックが安息角で沈下して行って、ほどよく現場の水理量とバランスするような間隔になるまで変形が進んで、安定することなのかと思います。安定の仕方が静的安定なのか、あるいは動的安定なのかはちょっと確定

しきれませんが、性質としては水量が厳しいほど間隔は狭くなるということを知っておけば良いかと思います。

(スライド55) このスライドは根固め工の被災にあたるものです。敷設幅が狭いとこのように護岸の前の河床高が低下して護岸の基礎を守ることができないということになります。

(スライド56) 次は乱積みブロックですね。5段の乱積みではどういう変形・移動をするのだろうかということを見たのがこちらです。左側にカラフルな石の写真がありますが、これは施工時には段ごとに色を変えたのですが、崩れたものを見るときれいに混ざっている、ということのひとつの特徴としてつかんでおいてください。個々の石の落ち方もやはり安息角で落ちているようだということが分かりました。

(スライド57) 2段積みで薄くしても同じような変形・移動をすることが分かりました。

(スライド58) 多段の乱積みの応答特性をまとめたスライドです。乱積みも崩れて、斜面を覆い斜面が安定するような状態に落ちつくというようなことが性質として見られます。斜面の形成機構が静的なのか動的なのかははっきり分からず、どちらの可能性もあります。

(スライド59) 護岸を守りきれないという例としては、やはり敷設幅が狭いと護岸前面の河床高が沈下してしまうということがあります。

(スライド60) それから、敷設厚さが薄過ぎても、やはり護岸前面河床高を守りきれないということが分かりました。

根固め工は以上です。

< 3. 1 樋管変状実態調査 >

(スライド61) 次、「樋管」です。樋管は、2事例話そうかと思っています。

1事例目について、右下の写真は出水があったときの状況ですが、激しく水が噴き出して、土砂とともに噴き出しているということがありました。魚も出てきてしまって、結構緊張を要する状況だったのではないかと思います。どういう場所かという、ここは排水ポンプがあって、吐出槽で水位、ヘッドを上げて、川に排水するという樋管です。左側の表を見てもらうと、河川水位が地盤よりも高い水位になると、やはり排水するためには吐出槽の水位が上がりますから、函体内の水圧が上がると漏水が起こるということが起きているようだと分かります。

この断面図を見て分かるように、もともとは白色の部分が堤防だったのだけれども、そこに道路兼用で腹づけしたので(斜線部分を)後から盛り土したという横断形状です。

(スライド62) 現地の外観を調査すると、川表側は何ともなかったのですが、川裏側の方はよくよく見ると、L型擁壁の境界部に抜け上がりが見られました。

スライドには書いていませんが、道路の方でもこの橋の取付部は地盤沈下がある地域らしく、何度も何度もオーバーレイしているそうです。このL型擁壁はきちんと基礎を打ったために沈下しなかったのですが、樋管のほうはどうも沈下していた疑いが強いということです。

(スライド64) 直接確かめるため、平常時にこの函体の両側のふたを閉めて吐出槽の水位を上げてみると、実際にやはり洪水時の漏水箇所から水が出ていました。水を止めて水圧を下げると戻ったということで、函体から水が漏れたのは間違いのないことです。

(スライド63 戻る) 掘削調査もしていただいでいて、掘ってみたらL形擁壁の境界のところ、盛土の沈下に引きずられて空洞が開いている状況が確認できました。

ファイバースコープも突っ込んで、空洞がつながっているということが確認できたということです。

(スライド65) 函体内で不同沈下の量を調べると、このような沈下形状になっていました。新たに追加盛り土をしたところを中心に圧密沈下しているということですね。引き込まれて沈下しているということがはっきり分かります。それから、函体にひびが入っていたり、継ぎ目が開いたりしているのですが、最後の継ぎ目の区間の真ん中で割れ、端で継ぎ目が開いているということが分かります。

(スライド66) 応急的に函体から漏れないよう対策をして、もう一回充水試験をしたところ、漏水が止まることを確認できたということです。

(スライド67) なお、このクラックからカメラを入れた際には、後ろにすき間があることも確認できました。

対策をするときに柔構造にするように改造したのですが、その際掘ってみたらきれいにクラックが入っているのがはっきり分かったということでした。

< 3. 2 樋管破堤箇所調査 >

(スライド68) 樋管の2事例目は、古い樋管があったところが破堤したという例です。こういった珍しい立体交差している川の、立体交差の手前のところに古い樋管があり、そこが破堤しました。破堤の瞬間も水防団の方が写真を撮っていて、このように沈下して行って壊れたものでした。

ここはもともと沼地を干拓したところでありまして、排水機場整備も進んでいたということであります。

(スライド69) 真ん中にきれいに古い樋管の本体が残ってしまっている状況です。

(スライド70) この(場所では)破堤した洪水の前にも、規模の大きい洪水をほかに2回経験していました。

(スライド71) そして、現場でいろんな開削調査をして、浸透流解析をかけるような調査を行ったということです。

(スライド72) それから、築堤履歴も分かっています。

(スライド73) これは、応急に閉め切るときに変形してしまっているのだと思いますが、函体も露出させ、出口のゲートは閉まっていたことも確認しました。

(スライド74) これは松杭で、短い杭で支えている構造だったのですが、松杭がどうもやはり堤防が高いところほど沈下しているという状況が分かりました。

(スライド75) 沈下も反映した浸透流解析をやりますと、樋管に出てくる水路を考慮するとしないのでは、考慮すると水路の底で大きい上向き流速が出るので、どうも不透水層下の透水層に水ミチが形成されたことが原因ではないかという話です。

(スライド76・77) このスライドは、樋管周辺の改修等の経緯です。ここで私が言いたかったのは、排水機場が整備されると、堤内地側がドライになりやすくなるので、堤外地と堤内地の水位差が大きくなり浸透破壊に厳しい条件になることが要因としてあったのではないかなということを暗に言いたくて、このような表をつけています。

樋管は以上です。

< 4. 1 被災実態（中規模洪水） >

（スライド78）「堤防」についてです。まず平成元年に集めた被災事例の内訳を見てみました。侵食関係の被災と漏水関係の被災の2つが目立ちます。

（スライド79）セグメント区分との関係で見ますと、漏水というのはあまりセグメントに関係なくどこでも起きているということが分かりました。それに対して、侵食災害というのはセグメント1とか2-1ぐらいのところが多くて、流速が速いところほど被災が起きやすいという特徴がはっきりしています。あと、風浪とか越波とかというのは、湖沼やセグメント3で発生するということが分かりました。

（スライド80）これは、風浪関係の被災の大部分がセグメント3及び湖沼だということを表す資料です。

（スライド81）内容は越波や根固め工の被災が多いのですが、ブロックや捨石が水中で変形したというものが多く、写真を見ても正直あまりよく分からないものでした。

（スライド82）洪水規模は1. 1 護岸被災実態（中規模洪水）のところでも話した通り、中規模洪水が主です。

（投影資料のみ）侵食破堤の最近の例として、十勝川水系の札内川で起きているものを示します。ここで私が注目しているのは、こういう侵食で破堤したのだけれども、堤内地よりも河川水位が低かったため、大きな浸水被害が出ずに済んだということです。同様のことが音更川でも言えまして、これは一種の河道掘削のストック効果が出ているのかなというようにも思いました。

（投影資料のみ）それからもう1件代表的な浸透破堤です。これは矢部川の事例ですね。法尻付近から濁った水が1 m程度の高さで噴いていたという消

防団員の証言があります。

< 4. 2 実物大水理実験（パイピング破壊） >

（スライド83）今度はパイピングの実験について説明します。これは動画を見てもらったほうが良いですね（以降、動画を再生しながらの説明）。

（スライド84）ここ（法尻）に小さな穴が形成されて最後に濁水がバーッと出てくる、10倍速だから本当よりはちょっと速いですが、最後の局面が起きた後は制御できないということがひとつ言いたいことです。

それからこの実験ではわずか30cmほどの幅の弱点を作っただけなのですが、このように幅30cm程度のトンネル状に穴が空くように被災してしまうということです。これを応用して考えると、キツネの穴が堤体内深くまで掘られると、洪水時に同じように破堤するのではないかと。そういうことがあるかもしれないということに注意したらどうかということです。

（スライド85）これは別の実験のケースなのですが、基礎地盤土層内でどのようにパイピングが起きるのかを実験上の動画で捉えた例です。パイピングが起りやすい条件として基礎地盤下側に非常に透水性の高い礫層があって、その上に砂層が乗っていて、さらにその上に堤防が乗っているという層構造のとき、しかも堤内地側に行き止りがあり透水性土層内の水圧が高まりやすいところで起きやすいのですが、パイプは堤防と細砂の境界で発達するというところをご紹介したいです。

砂層内で、こう火山噴火みたいに礫層から上に向かって流れが湧き出すボイリングのような状況が起きたりしながら、堤体土と砂層のすき間に水が流れているのが見えると思うのですが、このように空洞・水ミチが発達するというのがひとつです。

それから、右側のほうの動画は最後、だんだんすき間が大きくなって行って、堤防が耐えきれずに沈

下する、そんな最後の形態をとるといふことであります。

(スライド86) このスライドは、実験で見られたパイピングの発達過程を浸透流計算で簡単に解釈してみたといふことなのですが、堤防と下の砂層との境界面における水圧分布形を図示してみると、水ミチが奥に向かって発達していくほど、水面形・動水勾配が急になるといふことで、だんだんパイピングにとって厳しくなってくるといふ、こういう条件であるといふことが分かります。

(スライド87) パイピングは厄介で、ものによって進行速度が全然違います。急激に発達するものもあれば、ゆっくりと進行するものもありますので、パイピングという現象は幅が広いといふことが言える。ただ、どういふ速度で進行するかを定量的に予測できる段階にまでは、残念ながら分かっていないといふことがあります。

(スライド88) 先ほどは鉛直方向の複層構造だったのですけれども、もう1つ人為的に抽出実験のときに川・堤防の横断方向に水圧を引き込みやすい層があるといふケースについても実験しました。こういった表層の粘性土地盤を持ち上げて、激しく濁水が噴き出すような破壊が起きますので、ポイントはやはり高い水圧が堤内地側まで引き込まれると危ないのではないかといふことが言いたいことです。

(投影資料のみ) 常呂川での漏水を現地の開発局を調査してくれた例ですが、こういう礫層が下にあるところの上に砂層が乗っているといふところで起きやすいといふことが現場でも確かめられています。

(投影資料のみ) 常呂川も水位が既往最高を上回る規模の洪水でよくそういった症状が出ています。

(プレゼンファイルスライド23~26枚目) あと現

場も、もう天端から50cmだとか、それから1mとか、そういう水位が高いと起きやすかったといふことが言えるかと思ひます。

< 4. 3 水理実験 (堤防3次元形状越水) >

(投影資料のみ) 今度は越流の実験です。そこで三次元的な形状が影響するといふ話をしたいと思ひます。

(スライド89) 堤防に坂路を設けたりして平面形状的に出っ張りがある区間では、暗い色があるところほどのり尻が洗堀しています。この越流水の流向を示す矢印を見て分かるように、隅角部の凹みの場所のように流れが集まってくると洗堀が大きくなるといふのが1点です。

右側は特にそういう平面形状的な出っ張りはないのだけれども、堤内地盤の河川流下方向に段差をつけるところどころ掘れる場所が出てくる。このように、2種類の洗堀の大きい場所が起り得るといふことが分かりました。

(スライド90) このように隅角部のところに流れが集まって流量が集まるのがはっきり分かるかと思ひます。

(スライド91) 横軸に単位幅流量をとりまして、縦軸に洗堀深をとったグラフを作成してみると、1つのグループは割ときれいに線上にグループをつくって集まっている。同じ性質のものがあるのですけれども、もう1つ、同じ単位幅流量で全然違う洗堀が起きているといふパターンがあるといふことが確認できるといふことですね。

(スライド92) 単位幅流量が大きくなるのに洗堀が大きくなる場所について、もうちょっと詳しく見てみますと、こういう裏法尻の減勢が遠くまで及んでいるところで大きく洗堀しやすいといふことがひとつ分かりました。

(スライド93) 法尻の洗掘形状を見ても性質が違うというのが、こちらのグループが単位幅流量とは関係なく大きい洗掘が生じる、減勢ができていなくて掘れるというパターンですね。洗掘穴が堤内地側に大きい。それに対して、単位幅流量に応じて洗掘量が大きくなるきれいなグループの洗掘形状は何か同じような相似形で掘れていく(洗掘量の増大とともに洗掘範囲も相似形に大きくなる)ということで、グループが違うということは伺えるかと思いません。

< 4. 4 実物大水理実験

(裏法面吸出し防止材被覆越水) >

(投影資料のみ) 昔、フロンティア堤防という形で、吸出し防止材を裏法に張るというものの実験をしたことがあって、そのときに分かったことをご紹介したいと思います。

(スライド94) こちらは裏のり面の最大侵食深を縦軸にとって、横軸に時間をとっています。ものすごく急に侵食が進むというところと、それから割と一定に進んだ後に侵食が安定するというところが2種類あることが分かります。この一番左にあるのは何も被覆しないときのものでして、これはもう直接、越流水が裏のり面を侵食しているというグループです。もう1つここに似たようなものがありますけれども、これは吸出し防止材を重ねているところの幅が、裏のり面の侵食に伴い重ねが及ばなくなって直接裏のり土羽面上を越流水が流れると、被覆がないケースと同じように掘られるということが分かるというのが1点です。それから、もう1つ、ちょっと裏のり面の侵食速度が速いだけどもある侵食深のところ安定するというものがあるのですが、これはここに典型的に見られますが、側壁沿いに水が集まって裏のり面を侵食しているという状況です。これは、越流水が直接作用するのではなくて、吸出し防止材というスクリーンを通じてしみ込んだ水が集まって流れていくことが、ある程度の侵食

深のところ安定するということになります。もう1つは、しっかりと吸出し防止材を敷いておくと、その間の流れにバランスが取れた形で掘れずに済むということが分かります。

(スライド95) この解釈をするのに、服部(敦現国土技術政策総合研究所 水防災システム研究官)さんや、藤田(光一 現河川財団河川総合研究所所長)さんが作ってくれた「引張り破壊応力と侵食限界流速の関係」というグラフがあるので、そこに実験で用いた堤体土の引張破壊応力を測定してプロットしてみると侵食限界流速というものである程度説明がついた、ということをお願いしてこのグラフを紹介します。

(スライド96) このグラフは、横軸に越流水深をとって、縦軸に裏のり面上の流速をとっていますけども、上のほうの線は越流水そのものが吸出し防止材の上を流れる際の流速です。下は吸出し防止材と堤体との間を流れる流速です。シート(吸出し防止材)上の流速は侵食限界流速を上回るが、シート(吸出し防止材)下の平板間流れの流速は侵食限界流速を下回っていることがはっきりと分かります。

(スライド97) ちなみに、こういう平板間の流れなので、すき間があればあくほど流速が大きくなってくるので、それを大まかに試算すると、ある程度以上すき間が開くと(このグラフでは5cm程度隙間が空くと)流速が侵食限界流速と同程度になって信頼性が薄れるということが分かります。

(スライド98) ただし、安易な工夫はいけないという戒めの意味でこのスライドを入れました。侵食耐力を上げるために、吸出し防止材の下に碎石を置いたら良いのではないかと思って実験をしたのですが、あっという間に碎石が流されてしまい、こういった工夫をする場合には、やはりしっかりと確かめるということが大事だということをお願いしてこ

のスライドを加えました。

(スライド95 戻る) 何が言いたかったかという
うと、土の耐力(侵食限界流速)というのは、引張
り破壊応力を計測することによってある程度評価で
けるので、こういったデータを現地の堤体でも集め
るのは大事じゃないかということです。

< 4. 5 実態調査(常呂川堤防と支川堤防におい て破堤有無を分けた要因は?) >

(スライド99) 次に、常呂川で、本川の堤防が越
流したけれども持ちこたえたという場所があった一
方、支川で破堤したというのがありまして、これを
分けたものは何だったのかということ考察してみ
た話をします。

(スライド100) これが、(本川の)持ちこたえ
たところですね。

持ちこたえたところに行くと、今、三次元測量
データとかの話が出ていますけれど、そんな高度な
ことはしなくても堤防天端と同じ高さに目線を置き
て上下流を眺めると(右上写真)、へこんでいる区
間があることはすぐ分かる。現地で点検するときは
目線を堤防天端標高に置いて上下流を見て頂きたい
という話です。

持ちこたえたところの天端を見てみますと、すご
く硬い土があり、(左下写真)土が結構丈夫だった
という要因がありました。

(スライド101) 左側の写真は、裏法尻洗堀の下
流(堤内地)側に、デルタの堆積物のように侵食さ
れた土砂が途中で堆積している状況が分かります。
これから何が分かるかということ、この堆積物の高さ
の水位の水たまりがあったということが分かるわけ
です。ウォータークッションというものが機能して
いたであろうという傍証であることが分かります。

もう1つ、堤防の耐力に、植生の根、根毛層とい
うものがありますが、右下の写真を見てみると根毛

層が形成されており、しっかりと管理されている堤
防だなということが確認でき、右上の写真では根毛
層が侵食を抑制している様子が見えます。

(投影資料のみ) これは柴山沢川という北海道開
発局が直轄管理している支川の堤防の破堤箇所です。
それからこちらは道管理ですが東亜川という支
川の堤防破堤箇所です。ちなみに常呂川は北海道開
発局による直轄管理です。そういう3つの川の堤防
がありまして、越流したけれども破堤した場所と破
堤しない場所に分かれた。その要因は何だったの
か。

(スライド102) 越流水深毎の「裏法尻の流速」
というのが加藤さん(史訓 現国土交通省国土技術
政策総合研究所河川研究部海岸研究室室長)の論文
で出ていまして、越流水深が小さい水脈が薄い流れ
は等流で評価できるし、越流水深が大きい水脈の分
厚い流れになってくるとエネルギー保存則で裏法尻
の流速を評価できるという話があります。河川堤防
の越流水深は津波越流のように大きくなりませんの
で一般的に赤枠で囲った範囲と考えることができます。

(スライド103) それを応用して裏のり面の等流
の流速と、それから裏のりが半分割れたときには滝
のように落下するのだからエネルギー保存則を使っ
て流速を推定して良いだろうということで、その2
種類の推定流速を先ほど紹介した越流を生じた3箇
所で試算してみたのがこちらの図です。だいたい等
流流速は3.66m/s、2.87m/s、3.87m/sという流速で
すが、それに対して、 σ_{tb} (シグマ)という引張り
破壊応力を計測したものから評価できる侵食限界流
速 v_c が、常呂川の破堤しなかった堤防で5 m/sぐら
いということで、やはり常呂川の破堤しなかった堤
防は結構丈夫な土だったということです。それに対
して柴山沢川の堤体土は侵食限界流速2.5m/sともう
少し弱い土だった。それから東亜川の堤防では侵食

限界流速 4 m/sと、柴山沢川堤防よりは強かったけれども等流流速3.87m/sと同じぐらいの流速だった。

また、植生根毛量にはっきり違いが表れていて、直轄管理の常呂川堤防はちゃんと根毛量 σ_0 が0.108gf/cm³と大きく根毛層も 5 cm程度まで深く入っている。同じく直轄管理の柴山沢川も根毛量 $\sigma_0=0.041$ gf/cm³とそれなりに入っているけれども、道管理の東亜川の堤防は根毛量 $\sigma_0=0.012$ gf/cm³とひどく少ないということがはっきり分かりました。

(スライド104) こちらのスライドが、土の引張り破壊応力 σ_{tb} と植生根毛量 σ_0 をちゃんと測ればある程度侵食耐力を評価できると表しています。粘性土には引張り破壊応力 σ_{tb} と侵食限界流速 v_c の関係が整理されていましたが、植生の耐力についても、根毛量 σ_0 と a の関係が整理されていて、 a というのは削れにくさを表してしまっていて、小さくなるほど削れにくい。 σ_0 が分かれば a の値つまり侵食耐力の傾向が分かるということです。

(スライド105) こちらは、根毛層が流れの抵抗になって流速が落ちるので効くという原理です。何が言いたいかというと、こういう堤防の侵食耐力を決める根毛量とその鉛直分布のデータを現場でしっかりと取るのが大事ではないか、ということです。

(スライド103 戻る) あと同じように何が言いたいかというと、1つは、この常呂川が持ちこたえた理由は、土が強かったという箇所というものもあるかもしれないけれども、堤内地側に内水で水たまりがあった。これがすごく大きかったのではないかと私は思います。

(スライド106) 同じような例がこの小本川でもありまして、こちらは山付のところの下流のところ、わざと堤防を霞堤として開けておいて下流から堤内地側に水が回り込むようにしてあり、堤防天端

にも舗装がある。そういうところだと、やはり最後まで行かず（堤体裏のりの侵食が破堤まで進行せずに）に持ちこたえているのではないだろうか、ということが言えます。

<<参考>>越流堤Asフェーシング被災 点検等のポイント>

(投影資料のみ) これは「これを入れるように」と伝言されましたので入れましたけれども、越流堤の一種である流入堤のアスファルトフェーシングの被災を分析した例です。

(スライド107) 左側の写真は、洪水時にアスファルトフェーシングの流入堤を水が流れ込むときに、池の中で跳水が起こって減勢しているというものですけれども、右側の写真にありますように、ある高さのところでこのようにアスファルトフェーシングがぐっと持ち上がったような被災が起きているということがありました。

(スライド108) 現地をよくよく流況を見てもらうと、ある時間帯で跳水が暴れている状況があったので（右側の写真）、おそらくこういうときに被災したのだろうということが、後になって見てみると分かりました。左下写真でも分かるようにアスファルトの持ち上がった高さも人の背丈ぐらい持ち上がっています。

(スライド109) 流入堤の構造を見てみると、堤体内のたまった水を池側に排水する必要があるため池側に排水路出口が設けてあって、それから堤体内の空気を抜くために上のほうに排気管がある。このような構造でした。

(スライド110) 現地でアスファルトが持ち上がるという被災が確認されたので、1つは空気抜きがうまく機能していなかったのではないかと仮説がありました。それに関しては、現場で、この排水

柵の中に雨で水たまりができていて、出口が40cmぐらい塞がっていたのですが、現場を点検で歩いていた人が「そこ（排気弁付近）でボコボコと空気が抜けている音を聞いている」ということだったので、空気抜きは機能していたことがはっきり分かるということでした。

（スライド111）先ほどの写真でもあったように、跳水が起きると池の水面を下に引き込みますので、こういうアスファルトの下の面で、上から押しえつける力と下から持ち上げる力のバランスを図に書いてみると、赤で塗ってある部分はアスファルトを持ち上げる力がアスファルトを押しえつける力（自重と水脈厚重量の合計）を上回っているのですが、ある水位と流入量するときにはそういう範囲が出るのだということが分かり、その範囲と被災、水位の範囲がかなり一致しているということが分かりました。

（スライド112、113）（机上計算を確認するために実施した）水理実験の写真を見てみると、確かに池の水面形が跳水発生箇所で下がっているということが確認できました。

（スライド114）ちなみに、アスファルトフェーシングの下の堤体土が改良してあって、そのおかげで被災が大きく進まなかったということでした。後ろに鉄道が走っていますので、バックアップ効果のような働きを果たしたということが分かりました。

< 5. 1 侵食に伴う橋台被災 >

（投影資料のみ）次は「橋梁」です。橋梁は4事例に分かれています。5.2と5.3は同じ話なので、大きくは3つの話があると思ってもらって結構です。

（スライド115、116）1つはまず、現地でこのように橋台が落ちた事例があった（スライド115左側写真、スライド116上側写真）のですけれども、そ

れをきれいに再現した実験を水害研の武内さん（慶了 国土技術政策総合研究所河川研究部水害研究室主任研究官）がやってくれました（スライド115右側写真とスライド116下側写真）。それをご紹介します。

（投影資料のみ）これですね。コマ送りでやってみますので見てください。ここで落ちましたね。ここまでは何ともないけど、ここで落ちて崩れたと、このようなことが起きています。

（スライド117）なぜだろうかということですが、これは侵食が進んで流れが橋台にぶつかるようになると、橋台上流面を下に向かってもぐり込む流れができるのと（中・下の図）、あと平面的に流れが集中する場所ができる（上図）。そういうことで急激に橋台周辺河床が掘られていって橋台が崩壊して壊れるということですね。なので、橋台を保護する護岸が大切だということです。

（スライド119）それから、橋台が崩れてしまうと通れなくなってしまうので、やはりこれはあまり良い被災の仕方ではないということですね。

これは小本川の赤鹿橋というところの例ですけれども、右は被災直後の写真で、このように堤内地側の家・道路まで全部なくなってしまった場所です。

（スライド120）けれども、橋が何ともなければ、応急で橋までの坂路を作れば橋を使って交通路が確保できるので、やはり橋が無事というのは被災直後の応急活動や復旧活動にとって大事なことだということです。

（スライド118 戻る）橋台の根入れによる橋台周辺と河道内の河床高の時間変化の違いを測定する水理実験もしてくれており、上のグラフは橋台の根入れが浅く変形するという実験で、下のグラフは橋台の基礎を水路床板まで入れて固定し変形しないよ

うにしたという実験です。グラフを見てみると、根入れを十分に深くすると橋台周辺の洗堀深が倍ぐらいになっていたということで、これは橋台の根入れで対処しようと思うと結構大変だということであります。なので、やはり護岸で守るのが大事かなということですね。

< 5. 2 橋脚間流木閉塞 5. 3 桁下流木閉塞 >

(スライド121) 次は、「流木」の話です。この被災事例は、洪水の流れは橋梁や河岸を越水はしていないが、このように橋脚の間に流木が堆積したという例です。

(スライド122) これに関しては、坂野さん(章当時:国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室 主任研究官)が実験をしてくれています。流木の長さや橋脚の比が1となり、径間長と同じ長さの流木が流れてくるようになると急激に閉塞し滞留しやすくなるということがはっきり分かっています。これは知識として知っておいたほうが良いと思います。

(スライド123) 次は、「クリアランス不足」です。スライドは九州北部豪雨の事例ですが、結構流木がたまっている例もありました。

(スライド124) これについてもやはり水理実験をしてくれていて、クリアランスが減ってくると急激に流木がたまりやすくなる。このことはよく知っておいた方が良くないかと思えます。

< 5. 4 桁・橋脚の転倒 >

(スライド125) これは花月川で鉄橋の橋脚がポキッと折れ曲がった例です。これについて、計算によって説明できたという話をしておきます。

(スライド126) もとは、こういった構造の橋だったのですけれども、平成24年の洪水の後に激特事業で河床を下げました。

(スライド127) 平成24年のときはこれだけ水位が上がっていて上流側では桁に水位が0.5mほどあたって流れているという状況でも何とか持ちこたえました。それが平成29年の洪水では倒れたので、その違いが説明できるのではないかと思って計算してみました。

(スライド128、129) P2～P4は現場で確認できた転倒面の継ぎ目のところで、P5は現場で根元から転倒していたので根元のところでモーメント計算をしました。

(スライド130) 棒グラフは左側が転倒モーメント、右側が抵抗モーメントです。そうすると、平成24年の洪水のときには転倒させようとするモーメントと抵抗するモーメントがぎりぎりでした。それが平成29年では圧倒的に転倒する方が勝っている。ちなみに抵抗モーメントに点線で上乘せして示したように、継ぎ目のところでコンクリート並みの引張り耐力があれば持ちこたえるという試算結果ですけれども、これは現地の継ぎ目の状況からもそれは期待できない状態でしたので、ほぼ説明できているのではないかということですね。

(スライド131) P5というのは根元から転倒したのですが、こちらについても平成29年は持たなかったけれども、平成24年は持ちこたえたということが説明できるのではないかということで、ちゃんと計算してみるのも大事だということです。

(スライド132) 橋脚でもう1つ大事なものは、橋脚が沈下するものがあるので、そこは平均河床高の動向を注意するとか、洪水時の洗堀量を計算してみれば分かるのではないかという話であることを追加で参考に紹介しておきます。

< 6. 1 落差工 被災実態 >

(スライド133) 「落差工」です。平成元年の被

災実態にもいくつか構造物関連というのがあり、「床止め関係」というのがありました。取付護岸が被災したものと護床工が被災したものが主な2つです。あとは、先ほど紹介した、橋台が被災したものを含めての3つとなります。

(スライド134) それで、なぜ取付護岸が被災するのかですけれども、こういう落差がある場所では下流に射流状態ができてしまうので、そうすると水面形を押し込んだりする流れが生じるということです。射流の水位の低いところに流れが落ち込む場所は高流速が発生するので、取付部のところの護岸がやられやすいということがあり、1つはその通りにやられています。

<6.2 落差工被災調査 A川M床固め工被災調査>

(スライド135) 水理実験での例について、これはある河川の床固めが被災したというものなのですが、この年表で見ておいてほしいのは、設置した後に改造をして、その後に大きな洪水を3回経験して3回目の洪水で被災したということです。2回持ちこたえたという、ここを覚えておいてください。

(スライド136) どういう改造をしたかという、当初はこのように沈床の下流に六脚ブロックを置いているというだけの構造だったのですが、魚が上りやすい川づくりということで、魚道を作るために改造をしています。その後に洪水を2回経験して、3回目のときにこのように斜めに削られたように被災したというものでありました。

(スライド137) 現場に行ってみると、魚道の下流端のところは何ともなかったけれども、上流でめくれ上がっているのが見られました。

(スライド138) 現場で河床高を詳細に測ってもらうと、落差工の役目である上流の河床高を維持するということが果たせなくなっていて、こんなふう

に上流側の河床が低下しているということがはっきり分かります。

(スライド139) それから、もう少し広域に見てみると、先ほどのスライドはこの「M床固め工」のところだったのですけれども、それより上流のもう1つ上の床固めのところまで河床の低下が起きていた。この写真のように根固め工が大きく沈下しているとか、護岸の基礎が露出しているとか、そんなことが起きていました。

(スライド140) 経年的な河床低下が起きているのかなというのを見てみると、平均河床高を見てみても、最後の洪水で被災をしたときに若干下がってはいるけれども、河床低下傾向にあるとはあまり言えないということでありました。

(スライド141) それで、水理実験をしてみました、ここは構造が上下流・左右岸で異なり複雑なので、4種類の測線でそれぞれ実験しましたが、壊れたのはこの左岸測線2でした。右岸測線1は持ちこたえたので、その2つを紹介します。

(スライド142) こちらが、その致命的破壊に至った左岸測線2です。だんだん流量を上げていきますと、被災前に経験した洪水のときには何とか持ちこたえたけれども、被災洪水の規模では壊れていったということです。

(スライド143) その経過をポンチ絵にすると、この絵ようになります。改造で沈床下流に3種類のブロックの護床工を上下流方向に置いたのですが、3種類の護床工のうち最も上流側の護床工として魚道部分の撤去沈床から有効利用したトウフブロックを並べたのですが、そのトウフブロック下流の六脚ブロック護床工が動いてトウフブロックがどんどん飛んで行って、沈床も壊れたという被災が起きました。

(スライド144) それに対して、右岸測線1はもともとの構造とほぼ同じ構造の測線なのですが、こちらだと被災している規模の洪水のときにも何とか持ちこたえている。こういう水理実験結果でした。

(スライド145) 測線ごとに流量を横軸にとって変状がどういうところで起きたかということをグラフにすると、このようなものが書けました。水理実験をしておくことで、このように点検の目安になるような変状がどのような規模の流量で発生するかということが分かるということです。

(スライド146) もう1つ、今、河川研究室で、河床低下しているときにどうなるかということも同じように作ってくれています。こちらでは横軸が下流側の河床低下量になっていまして、縦軸は流量になっていますけれども、どういう組み合わせで大きく被災しやすいか、というのが分かるようになります。

<7. 1 ゴム堰の損傷穴発生>

(投影資料のみ) 最後に、「堰」です。

堰は、1つはゴム堰に穴が開いたという話と、もう1つは、固定堰が転動、つまり転がっていったという、2つの例を紹介します。

(スライド147) 被災が発生したゴム堰なのですが、こちらはこういう堰柱寄りのゴム堰の袋体に、この写真のように穴が開きました。穴のところをよく見ると、何層か重ねている袋の素材なので(左下端写真の)年輪のようになっているということでした。これはどうも摩耗によって開いた穴だそうです。壁のところをよく見ると、そこにこのような(右下写真2点)、ピーコンと言っていました、さびのイボのような突起ができるんですね。どうもその突起と袋体とが擦れて穴が開いたようでした。

(スライド148) それともう1つ変状が起きていて、これは床にクランプで固定しているのですけれど、

ども、穴が開いたところの近くは、上流側ではクランプが外れていたもので、どうもこの部分は大きな力が働いたのではないかということが分かります。

(スライド149) それ以前の補修履歴を見ますと、ものすごく補修場所が偏っているんですね。実際に穴が開いたのもここなのですが、補修箇所が集中しているという特徴がありました。しかも下流面に集中しているということです。

(スライド150) 何でこうなるのかなということですが、現場をもう一回よく見ると、補修痕に、貝殻栓といって金属でふたをしているところがあるのですが、金属が床板と擦れて細長い溝ができているということが確認できました。これはどういうことかということ、この袋が洪水時に転倒するのだけでも、揺動といって、転倒後にどうも動いていたということの証拠であるということです。

先ほど補修履歴のスライドで「同じところがやられやすい」という話をしましたが、現場の事務所の方々は、この場所は流れが集中する場所だと言っておられました。これらを考察すると、補修が集中するところは他に比較して流速が速かった可能性があるのではないかという仮説が立ちます。流れがあると袋には流速の2乗に比例する揚力が働くので、転倒するのも最後になるのではないかということですね。

当該の堰は、真空にして抜くというのではなくて、自然転倒という形だそうで、だからそういうのがひとつあったのではないかと。メーカーに聞くと、こういう断面形状が円型のものよりも半円形のものの方が、同じ堰の高さならば揺動幅が小さいので安定しているということはおっしゃいました。

(投影資料のみ) その後、きちんとパンクの修理のような補修をしました。あと下流の床板のところも摩擦係数を減らすような塗装を施す措置も取ったということでもあります。

(スライド151) それから、別のゴム堰の例を示します。これは5門ぐらいあるのですけれども、劣化にゲートによる差があるようでした。操作上はゲート間の差はないのだそうですけれども、どうも劣化に差がでるといことなので、今後長寿命化計画とかを策定するときには、劣化速度の差の証拠になり、寿命の根拠になるような、例えばそういうところではどういう動きをしているかというデータをとるのが大事ではないかということをお願いして紹介をしました。

<7. 2 固定堰の転動流失>

(スライド152) こちらの話は固定堰の転動です。これは、洪水後に固定堰のある高さの断面より低い断面部分が下流側に転がったということでした。なお、これは岩着している固定堰でありました。

また被災したものと同じような規模の洪水を過去に2回経験しているということでした。

(スライド153) 転がったところの底面を実際に見てみると擦れた跡がなくて、転動したということが確認できました。

(スライド154) それから、現地における痕跡から、堰のところで急激に水位が下がることと、下流側では痕跡水位に結構な幅があるという特徴がありました。

(スライド155) 洪水のときに写真を撮ってくれていて、だんだん流量がふえてくると堰上下流の水位差が大きくなっているということが分かりました。

それで、仮説として、もぐり状態であるときと下流側で射流となって流速が走るときで、全然堰に作用するモーメントが違うのではないのか、転動しやすさが違うのではないのかということで、計算を試みました。

(スライド156) 固定堰周囲の圧力の状態を出し

て転動モーメントと抵抗モーメントを積み上げてみると、やはり射流状態だと転動しやすくて、もぐり状態だと安定しそだったということが分かります。

(スライド157) 実際に水理実験をして見ますと、確かに痕跡水位近くのところで流況が分かれています。痕跡水位より下流水位が低いと堰下流で射流が発生するということでした。痕跡水位より下流水位が高くなると、堰上下流の水位差がなくなって潜り状態になるということが確認できました。

(スライド158) 堰の表面で圧力も測りました。

(スライド159) それでもう一回、実験で測定した結果のもとで抵抗モーメントと転動モーメントを計算し直すと、抵抗モーメント／転動のモーメント比が非常にきれいに痕跡水位のところで分かれ、説明することができるということが分かりました。

(投影資料のみ) モーメントを計算したときに、抵抗モーメント／転動モーメント比だけを出していただくのではなくて、このように積み上げグラフで結果を図化すると、こういった要素が効くかということが分かるので、こういうことを丁寧にするのは大事です。

以上で、説明は終わります。

<まとめ>

全体を振り返って少しポイントをご説明します。

配付している資料には、今日用いたスライドの中で配付していないスライドがあります。テーマごとに文字でまとめたポイントは、皆さんにそれぞれ考えてほしいということでわざと入れませんでした。私が考えるとそれぞれの事例からこんなことがポイントではないか、というものをまとめたものであり、事例から皆さんそれぞれが考えることが重要だということを知っていただければと思っています。

< 1. 1 護岸被災実態（中規模洪水）点検・評価のポイント>

（配布外スライド2）護岸の被災実態で見たものでは、これは多分河川研究室のプレゼンでもあったのだと思いますが、1点目はやはり基礎の根入れ高と河床高の比較はすごく大事です。目視点検で外見を見るのも大事ですが、データを見ることの方が大事だということを言っておきたいと思います。

2点目ですが、私としては、破壊の形態の中で、流体力による破壊と合わさっているものは要注意だということを言っておきたいと思います。要監視段階とか予防保全段階とかありますけれども、流体力破壊と複合して起こる被災というのは、それはもう措置段階でしょうと言いたいですね。

3点目、下流端からの破壊、施工範囲不足による破壊ですね。こちらに関しては最後に説明した砂州が形成される湾曲河道では、流量規模によって水衝部が違っている場合がある、そういうことを意識することが大事です。

4点目、天端から破壊するものは、流速の速い河川で、規模の大きな洪水ある種の超過洪水みたいなもので起きやすい。

5点目、材料劣化に関しては、総合的に評価することが大事なのかなと思います。流速の速いセグメント1やMは、流体力破壊も起きやすいので材料劣化でも要注意である。それに対して、緩いセグメントのところでは、セグメント3だったら中詰め石だけでも持ちこたえる場合もあります。セグメント1でも高水敷幅が十分にあるとかいう場所であれば、予防保全というものもあり得るのかというように思います。

6点目、吸い出しに関しては、やはり原因が分からないといけないということが最も重要です。雨水排水とかはちゃんとよく見れば分かるので、空洞の水ミチを追うことが大事です。ただ、雨水排水であればこれは予防保全とか予防監視段階でもありかなと思います。

< 1. 2 縮小水理実験（洗掘に対する応答特性）応答特性踏まえた点検のポイント>

（配布外スライド3）縮小水理実験の知見を踏まえたポイントです。1点目は、一体性の弱い護岸というのは変状があらわれやすいので見つけやすいと思います。2点目として、施工端からの破壊は、基礎からの破壊と合わせたものである場合や流体力による破壊と合わせたものは、これは要注意です。

3点目として措置について。根固めを入れるとか、小口止めやすりつけ護岸で端部を処理するということは効果があるので、措置の手段の1つではないかと思います。

< 1. 3 大規模洪水被災の現地調査 点検・評価のポイント>

（配布外スライド4）1点目は繰り返しになりますが、大規模洪水のときは、法肩側の破壊が急流では多くなるということです。でもこれは設計を超過している状態でもあるので、「工夫」の世界なのかもしれないなと思います。

2点目です。都幾川の話もありますけれども、改修間もないところというのはどうも被災しやすいようです。その理由が、まだ植生が生えていないからなのか、あるいは土がだんだん強度を発揮するようになるからなのかよく分かりませんが、改修間もないところはやはり監視水準を高くするということが必要ではないかなというふうに思います。

3点目ですが、改修済み、改修区間の境界部というのは、すごく水面形が急になる場合があるので、そういうところは要注意ですね。

< 1. 4 実物大水理実験（基礎浮上りに伴う吸い出し）点検・評価のポイント>

（配布外スライド5）実物大吸い出し実験です。1点目。これは途中でも言いましたけれども、基礎が河床から浮き上がっている高さが大きいほど破壊速度も大きいですから、先ほどデータを整理するのが大事だと言いましたけれども、基礎高と護岸前面

の河床高の差が大きいところほど優先度は高いはずですね。

2点目ですが、もう一つ注意していかなければならないのは、基礎の河床からの浮き上がり高さが非常にわずかであっても陥没が起こる危険がありますので、これはなかなか要監視というのは言いにくいなど私は思います。

3点目ですが、吸い出しによる空洞化というのは、降雨後とか、冠水後に表面化とか顕在化しやすいので、そういうタイミングは点検のチャンスではないかと思いました。

< 1. 5 護岸被災分析 A川道路兼用護岸 点検等のポイント >

(配布外スライド6) 1点目。洪水規模によって、湾曲など、水衝部は変わりますので、そこをよくイメージすることが大事です。

2点目。先ほどはあまり言いませんでしたけれど、道路兼用護岸の車が落ちたりするという事故に繋がる恐れがありますので、やはり道路・交通関係機関との連携が大事です。最近いろいろな仕組みの新技术もありますので、裏込め土砂が抜けたらパトランプが点灯するとか表示板が警告するとか、そんなものも技術の方向性としてあるかもしれません。

それから3点目、被災後ですね。しっかりと水替えして、どこまで埋まっているのかということを見るのは洗堀深のデータとして非常に役立ちますので、この被災後調査というのは大事です。

護岸については以上です。

< 2. 1 根固め工 被災実態 点検等のポイント >

(配布外スライド8) これはあまり点検とは関係ないかもしれませんが、セグメントと施工する環境は非常に密接な関係にあると思いました。あと、上流の方のセグメント1の川だとドライ施工が容易、ということは水中にあるという場合は少ない。ということは目視点検が非常に容易ですので、そういう

ことは使いやすいですね。逆に下流に行くと、水中に肝心なものがあったりするので、ここは水中を含めた点検を何か考えないと大変だなというように思います。

< 2. 2 根固め工応答特性 (水理実験) 応答特性から見た点検のポイント >

(配布外スライド9) 根固め工の水理実験の知見からのポイントですね。1点目。根固め工は、機能を果たすのは護岸を守るためなので、護岸の前面に平坦部があるかがまず監視するポイントです。経時変化とか経年変化を見るのだったら、平坦部の幅が少なくなっていないとか、そういうことを見ることが大事です。

2点目。非連結の根固め工などとすると、河床材料が動きやすい河川ほど変形後におそらくブロックが密集するので、幅不足を見るのが大事ですね。

幅不足に陥っていたら、それは何が原因だったかということが次に措置するときに大事なので、洗堀深あるいは河床低下量の過小評価なのか、あるいはブロック間隔がもっと空くと思っていたのか、そういうことをチェックして、復旧工法に反映するのが大事じゃないかということが言いたいことでありました。

3点目。河床材料が動きやすい河川では、今度は根固め工の厚さ不足ということがあり得るので、注意がいるということでもあります。

4点目。根固め工の平坦部が護岸前面に維持できていなければ、技術的には措置段階だというように私は思います。けれども、背後の高水敷幅等状況によっては「要監視」という整理もあるかもしれません。

5点目。上流のセグメントですと、私は重量不足の話はしませんでしたけれども、根固めブロックが流出している場合もあり得ます。そういうところは、ブロックが流出しているんだったら重量のランクアップとかを考えるのが大事です。

6点目。連結の層積みは写真がなくて申しわけなかったのですが、私が若いころに現場に見に

行ったものだと、連結してあるけれども、連結部のつけ根のところからコンクリートが折れてしまっているとかいうのもありまして、連結部を見るのも大事だと思います。

根固め工は以上です。

< 3. 1 樋管変状実態調査 点検等のポイント >

(配布外スライド11) 1点目。樋管ですと、1つ目の事例のところでは、後から振り返ると予兆はあったわけです。道路が何度も何度もオーバーレイしているとか、そういうことは函体がもう沈下しているということの傍証なので、気づければ良かったというのが1点目です。

4点目に挙げていますが、抜け上がりがあった上で、しかもこれは函体が沈下しているおそれがあるのだから、函体内の点検をどこかでやっておくと良かったというように思います。やはり見るのが一番早いというか確実ですので、函体の中の点検というのをどこかで位置づけると良いと思いました。

2点目。もともと設計上は、杭でもたせるL型擁壁と一緒に函体も持つはずだと設計をしていたのであれば、こういう沈下の後にグラウトで追加するということを時々しなければいけなかった。1回はやっていたようなのですが、なかなか継続しなかったということがありますので、継続することが大事だと思ったところでもあります。

3点目です。出水の頻度が高くない場合。出水があれば変状や予兆現象に気づきやすいのですが、そういうことがない場所で不同沈下がある場合は、それを踏まえて数年に1回函体内点検をするとか、何かそういうことに思いが至ると良いのではないかなと思います。

函体の中を見るのが分かりやすいし、それから充水試験というのがここでは決め手として非常に良かったのではないかなと思っています。

5点目です。ややこしいのは道路管理者がおり複数の構造物管理者が輻湊している場所で、管理上なかなか難しい場所だと思います。けれども、ここは

個人的な思いですが、堤防をいろいろな有用な施設と兼用して強化していくというのは、方法の1つとして良いのではないかなと思っています。ところが、「ややこしいからどんどん排除する」という方向にはならないでほしいなと思っています。

6点目。それから、止水機能確認の試験で連通管試験というのがあるのですが、地下水が高い場所だと函体をドライにすることは難しい。なので、こういった被圧条件下で機能確認できる技術開発があると良いのではないかなと思います。個人的な思いつきでいうと、埋め殺しの水圧センサーがあれば、出水時に河川の高い水圧がどこまで伝わったかというのが分かる。出水時の水圧を現地で直接測ることが大事ではないかなというように思っています。

< 3. 2 樋管破堤箇所調査 点検等ポイント >

(配布外スライド12) 2つ目の事例について1点目。いろいろと内水排水施設が整備されるということは、堤防の内外水位差が大きくなるということです。これは浸透破壊という面では、状況が厳しくなっていくということだと意識することがひとつ大事ではないかなと思います。それを裏返すと、過去の成功体験というか、被災しなかったという実績が単純に通用するわけではないということをおく必要があるのではないかなということです。

2点目。内水排水施設の整備後、樋管閉鎖後被災洪水と同様の水位規模の洪水を2回経験して3回目に破堤に至った。1回でなったわけではないという状況証拠からすると、やはり進行性のようなものがあるのかもしれないとも思います。

その後パイピングの実物大水理実験などをしていると、必ず噴砂や漏水等の予兆があります。この事例でも被災しなかった2回の洪水で何らかの予兆があったはずなので、そこが発見できなかったのが少し残念に思いました。つまり、出水後でも良いので、しつこく現場の予兆がないのか見ることが大事だと思います。

3点目。実際ここは樋管としての役割は終えたのだけれども、撤去できなかったという状況がありました。不要になったものを撤去する機会に隣接堤防の開削調査もできますし、基礎地盤の圧密沈下量も把握できるので、不要になったものについては撤去が望ましいと思います。

< 4. 1 堤防被災実態 点検のポイント >

(配布外スライド14) 堤防の被災実態からのポイント1点目については、侵食破壊はセグメント1とか2-1で起こりやすいのだから、そこで絞れると思います。

裏返して言うと、セグメント2-2とか3であれば、高水敷がよほど狭い場所であれば、ある程度余裕があると思えました。高水敷が狭い場所では護岸の健全性というのをよく見ることが大事だと思います。

2点目。これは説明の中でも触れましたけれども、側方侵食による破堤であっても、最近河床掘削のストック効果が生きている場合が多く、堤内地と低水路平均河床高との差が少ない、「洪水時に水位が上がりやすいところ」ほど侵食で破堤した場合の氾濫量が大きくなるので、点検の優先順位が高いということではないかと思えます。

3点目。若い頃は気づきにくかったのですが、浸透に関しては、どのセグメントでも起こり得るということを再認識しました。

4点目。風浪はやはり湖沼やセグメント3など、風浪が起きるところで起きるので、該当するセグメントのところでは、そういった目配りがいるということです。

< 4. 2 実物大水理実験 (パイピング破壊)

点検・評価のポイント>

(配布外スライド15) 次、パイピングの破壊の実物大水理実験ですね。これは我々が実験している範囲でのことしかまだ言えませんが、1点目。透水性の高い礫層が基礎地盤にあるという場所で、

しかも行き止まりで水圧が高まりやすい場所、こういうところは要注意なのは間違いないということです。

ただ、事例説明の中でも述べましたが、パイピングは現象の進行にもものすごく幅があるので、パイピングの進行速度が速い場所や、パイピングが進行して危険な場所なところを特定していくためには、キーとなる透水層での出水時の水圧を測定でもしないと、なかなか診断や優先順位はつけにくいのかなと思っており、何とか測れないものかというふうに思っています。

2点目。これは同じようなことかもしれませんが、複層構造が要注意だということです。パイピングは堤体と細砂の境界で発生しやすいから、点検するポイントは絞りやすいのではないかと。基礎地盤の土層構造の把握というのが非常に大事だということが言いたいです。

それから、3つ目は、スライドではあまりうまく表現できず、またこれは私の個人的な意見かもしれませんが、パイピングが生じやすい弱点が水路全幅よりも幅30cmのときにむしろパイピング穴が開きやすかったというのは、裏返して言うと、堤体の変形がパイピングによる基礎地盤変形に追従しにくいところで起きやすいということではないかと思っています。不同沈下が起きやすい場所は要注意だと、昔から経験的に伝えられていますけれど、剛構造物の周辺では要注意だという経験的な知見とも一致しているなと思いました。

4点目。これは繰り返しになりますが、パイピング破壊の破壊速度評価に向けて一歩進めるには、現場で、キーとなる透水層の水圧を測っていくことが大事なのではないかと思えます。

< 4. 3 水理実験 (堤防3次元形状越水)

点検・評価のポイント>

(配布外スライド16) 次が越水の話なので、このセミナーで主目的としている点検の外なのかもしれないのですが。(構造令で堤防設計の外力として規

程している計画高水位を上回る現象であり河川整備事業として) 正々堂々と越水対策の予算要求をできるものでもないので、技術者の良心として工夫を総動員することが大切だと個人的に思います。

それを言い換えると、正解が1つとは限らないので、いくらでも工夫のしようがあるのではないのかとも言えます。

2点目ですけれども、三次元形状による集中というのは、単位幅流量の増加でかなり説明がつくということです。ですので、そういった場所では、逆に越流水が集中しやすい場所にアスカブを置いて越水しにくくするとか、法尻側でウォータークッションができればよいようにするとか、あるいは擁壁構造にするとか、そういった工夫が考えられれば良いと思います。

3点目。堤内地側の水位で減勢しにくい場所についてはなかなか対策、予測も難しいかもしれないです。ただ工夫としては、桜堤で整備するとか、あるいは樹林帯を置くというのも有効かもしれないと思います。それから法尻に道路を誘導するというのも、水たたきとして使える可能性があるのではないかと思います。

あと、堤内地側に何かうまく水たまりができるようなことができると良いと思います。

4点目。堤防というのは、ふだんも目立つ場所というか、河道の中とは違うので、同じ工夫を施すにしても通常でも役立つと良いなと思います。工夫のしがいもあるのではないかと思います。

< 4. 4 水理実験(裏法面吸出し防止材被覆越水) 点検・評価のポイント >

(配布外スライド17) 次、裏法面ですね。まず2点目。案外ここでは侵食限界流速、引張り破壊強度を把握するというのがかなり使えるのではないのかと、いろいろと実験や現場を考察している中で思っています。なので、引張り破壊応力は、もっとデータを集めたら良いのではないかなと個人的には強く思っています。

1点目。今後こういう守り方をするかは分かりませんが、吸い出し防止材などを裏のり面に置くのであれば、すき間が広がらず、重ね部分を解放しないということが大事です。

3点目。思いつきでやってはいけないと言いましたが、机上検討だけではなくて、ちゃんと実験で確かめるということが大事だと思っています。

4点目。これは説明スライドに反映しきれませんが、越流水による堤体内への浸透量というのは案外多いと実感してしまっていて、我々は縦割りで越水は越水だけ、浸透は浸透だけを検討するのですが、両方の相乗効果というのがあるかもしれないので、目配りがいるというふうに思います。

< 4. 5 実態調査(常呂川堤防と支川堤防を破堤有無を分けた要因は?) 点検等のポイント >

(配布外スライド18) 1点目。上下流に比べて堤防高が相対的に低い場所というのは、天端と同じ標高に目線を置いたら分かるのだから、現場をパトロールするときに、時々少し目線を堤防天端高と同じにして上下流を眺めることで分かるのではないのか。逆に言うと(河川の)素人でも分かる。これは、管理者としては緊張感があるのではないですかということをお願いしたいです。

2つ目の常呂川22.6kmのところでは堤防が越水に耐えた理由について、これは堤防が強いということはもちろんあったのですが、どうも堤内地側の法尻が冠水していたということが大きいのではないかと思っています。これを踏まえて、越水しやすい場所がうまく内水がたまりやすい場所にする、ということで越水強化が図れないかと思っています。

3点目。先ほども申し上げたように、これはかなり引張り破壊応力 σ_{tb} が使えるというようにも思っていますので、少しずつでも良いので現地堤防の σ_{tb} のデータをためていったら良いのではないかなと思います。

4点目。同じように、植生の耐侵食性も、根毛量が目安として結構使えると思います。最近、除草類

度を減らしたりして、今までの芝やチガヤとは違う種類の植生に遷移するシチュエーションが起こるので、しっかりと根毛量のデータを蓄積して、管理水準との関係を整理するというのが大事ではないかと思います。

5点目。越流水の流速の評価ですね。これも等流流速で計算できるので、こういう評価をする癖をつけると良いのではないかと思います。

裏のり側が削られた後というのは、これもそんなに難しい計算ではないのだから、エネルギー保存則で流速を評価したら良いのではないかと思います。裏のりが削れた後のエネルギー保存則による流速は非常に大きいので、やはりウォータークッションは大事だとなってくると私は感じます。

<<参考>>越流堤Asフェーシング被災

点検等のポイント>

(配布外スライド19) アスファルトフェーシングの話ですけども、1点目。こちらは被災が起きたときには流況に現れますので、ドライブレコーダーのように洪水時の動画を保存することが大切だと思います。

それから、2点目。空気がポコポコ漏れる音を聞いたということが結局大事なので、巡視時には肝になる施設・機能があると思うので、しっかりと排気しているかは河川巡視時に確認しても良いと思います。

3点目。点検とは関係ないですけども、フェーシング下の堤体土の地盤改良はしておいて本当に良かったと思いました。

<5. 1 侵食に伴う橋台被災 点検等のポイント>

(配布外スライド20、21) 次、橋梁ですね。1点目。橋そのものが機能を保っていれば、取付け部の坂路というのは案外迅速に応急措置が可能なのではないかと思うので、やはり橋台や桁が傾かないというのが大事だと思います。

それは迂回路がない場所になるほど大事だと思います。逆にすぐドライになるような場所だったら、仮設道路で案外すぐ渡れるようにできるかもしれないので、そういうところでは橋台が傾かないことが大事とも限らないのかもしれない。

2点目。それから、橋台の取付け護岸は案外大事だということです。これがなくなってしまうと急に洗掘されやすくなってしまいますので、点検のポイントとして取付け護岸は大丈夫かを見るのが大切です。そのためには構造や根入れや施工範囲は大丈夫かを確認することが非常に大事ではないかということです。

(3点目は飛ばして) 4点目。橋台の強化をするには、根入れはお金がかかるので、うまい対策はないのかということですね。

5点目。橋も一緒なのですが、確か北海道の水害時でもあったと思うのですが、橋台が落ちているのに車が進入して落ちることが起こりますので、これも先ほどの道路兼用護岸と一緒にですけれども、通行止め措置等の連携が大事だと思います。橋台が傾いたときに、うまく通行止め、ゲートが自動的に閉鎖するかパトランプが点灯するか、そういったことができるとうまいと思いました。

<5. 2 橋脚間流木閉塞

5. 3 桁下流木閉塞 点検等ポイント>

(配布外スライド22) 1点目。桁下高不足とか径間長不足というのは、流木閉塞しやすいことが実験でも示されていますので、これは言いかえると構造令施工前の橋梁では流木閉塞が起こりやすいということでもあります。なかなか改築費用も出てこないというのが現状なので、被災後の備えをあらかじめやっておくのが良いのかと。例えば、何か改築するときに対応するなど、事前復旧を行うのが大事なのかなと思います。

2点目。クリアランス不足と関係するのでしょうか、土砂災害と複合すると流木発生量も増え、河床高上昇と相まって流木が急に閉塞しやすくなる

ので要注意だということですね。

3点目。一方、上流にダムがあると全部流木や土砂をキャッチしてくれるので、急激に楽になるといいますか、点検の優先順位は、ダムが上流にないところこそ優先順位が高いということが言えます。

< 5. 4 桁・橋脚の転倒 点検等のポイント >

(配布外スライド23) 転倒です。1点目。こちらに関しても大洪水で倒壊する可能性がありますので、既往出水のときのモーメント計算ぐらいしておけば、次、転倒するかどうかということの類推ができると思います。

2点目。説明のときにも言いましたけれども、よくコンサルタントさんで最終結果だけ、この例で言えばモーメント比だけを示して「はいできました」と持ってくるのですが、そうではなくて、積み上げの途中のものも図表として整理することが大事だということを分かってくれれば嬉しいと思います。

3点目。既存不適格橋梁や鉄橋について事情を聞くと占有者が事前に改築する余力を持たない場合も多いようです。事前改築できないまでも、事前計算ぐらいはしていただいたら、少し緊張感が高まるかと思います。何かうまくWin-Winができる工夫があると良いとは思いますが、私にも良いアイデアがありません。

4点目。5. 2及び5. 3のポイント1点目で述べたことと同じ事前復旧の検討が機能回復の迅速性確保に大事ではないかということです。

< 6. 1 落差工被災実態 点検等のポイント >

(配布外スライド26) 次、落差工。1点目は、高流速が発生する場所が点検上特に要注意だということです。落差工の袖部や、それから直下流の射流区間の落ち込み場所は要注意です。

2点目。それから護床工ですね。ブロックの重量不足や、あるいは下流の河床が下がって落差が大きくなるのが遠因にありますよということです。で

すので、時々ブロックがなくなっていることがあるのであれば、重量チェックは大事だし、逆に言うと、流速が速くなっているということなので、そういう場合は落差も増しているということの傍証でもあるかと思えますので、要注意かと思えます。

あと、平均河床高とか最新河床高の動向をチェックするというのも有効だと思います。

< 6. 2 落差工被災事例調査 点検等のポイント >

(配布外スライド27) 6. 2。落差工の優先順位とかを左右するのは、ひとつは上流の何を守っているかだと思います。機能喪失によって影響を受ける対象も見ながら、重要度を整理していけば良いと思うのが1点目です。

2点目。それから、模型実験の結果から見ると、何かの改造をする際に、破壊限界が低下する可能性があるということです。ですので、本当は改造検時に模型実験などをして破壊限界流量や破壊限界の上下流の河床高の差を確認し、それをまとめておくと、いろいろな点検にも役立つと思います。ただ、全部実験するのもなかなか大変ですので、そのバランスでしょうね。

3つ目の高流速の発生場所で破壊されると、どんどん滝が後退するように破壊が進んでいきますので、非常に要注意だと私は思います。これは、予兆はなかなか見つけにくいですね。落差が経年的に急になっているなどの情報で、まずは絞り込んでいくということかだと思います。逆に言うと、下流側の処理ですね。今、護床工で守ることが最も大事なことのようになっていますけれど、逆に洗掘を許容して、うまく減勢させるということのほうが有効かもしれないと思います。ですので、護床工を伸ばすことだけが良いということではないかもしれないということです。これは洗堀穴で減勢を促進することもうまく設計に取り入れられると良いのだけだと思います。

4点目。洪水時の流況は、何といってもやはり重要な情報であるということですね。ドライブレコー

ダーのようにずっと動画を撮っておき、（出水後は）それを見ておいて、設計通りのことが起きているのか、あるいは当初設計している状態から変わったのかが分かるはずだということですね。また、ブロックとかがなくなっている場所なども要注意だと思います。

<7. 1 ゴム堰 ゴム堰点検・評価等のポイント・留意点>

（配布外スライド29）最後、1点目。ゴム堰で要注意なのは、袋体が揺動しやすい構造かというのがあります。真円構造は半円構造よりぐらぐら揺動しやすいということですし、真空で空気を抜いたほうが水圧で押しえつけられて揺動もしにくいと思いますので、そういうことは事前のスクリーニングでできるのではないかとことです。

2点目。それからあと、私は2つしか事例を知りませんけれども、どうも同じように操作していても劣化や損傷に明らかに差が出ています。今は長寿命化計画をつくる時代になっていますので、計画に反映できるように、何らかの客観的証拠というのでしょうか、振動など、何かを「測る」ことがすごく大事なのではないかなと思っています。「流況が偏ってます」とか定性的なことを言ったところではなかなか寿命の差までは評価できないので、やはり計測するというのは大事だと思います。

3点目。あとは袋体が摩耗損傷する原因となるような突起がないかということを見るのが大事ですね。

4点目。それからやはり、堰なので機能をすぐ回復することが大事かと思っています。そのときに、だんだん年齢を重ねてきたところでは、交換用の袋体があるといろいろな変状や不具合が起こった際に、その後の劣化試験や原因究明とかもやりやすくなりますので、事前に用意できると良いと思います。

5点目。あと、倒伏した状況ですね。それが確実にちゃんと倒伏できているのかという確認することが大事だと思います。確認のための管理橋がないと

本当に大変みたいです。管理者の方ももう二度と使いたくないとかそういう気になるようですので、やはりいろいろな意味で管理橋を設置することは大事だと思いました。

それから流況。先ほどの袋がばたばたしていれば、何かこう流況に表れるのではないかとも思いますので、せめて動画撮影しておくぐらいはできると良いと思います。

<7. 2 固定堰の転動流失 点検のポイント>

（配布外スライド30）次、固定堰の転動ですね。こちらはきれいに説明できたと思います。1点目。やはり流況によって抵抗モーメントや転動モーメントが異なりますので、設計が元々どういった状態を想定しているものなのか（を知ること）が大変重要だということです。固定堰下流は急変流が起こる場所なので、流況撮影をしておけば相当分かりますので、動画を撮っておくのも大事だと思います。

2点目。先ほどの橋の倒壊と一緒にすけれども、抵抗モーメントと転動モーメントの比較ですね。こういうもので相当考察ができますので、これはぜひ積み上げグラフで比較して頂くことが大事だと思います。

3番目は先ほど言ったことと同じで、設計している条件ですね。例えば、もぐり状態で設計されているのかとか、そういったことは大変大事な情報かと思っています。

<質疑応答>

司会 ありがとうございます。

それでは早速、質疑応答に移りたいと思います。構造物ごとの質問と全般的な質問、大きく2つあるかなと思うのですが、特に分けずに質問されたいという方がございましたら挙手願えればというふうに思います。お願いします。

質問者1 事業対策官をしています。今は道路の方をやっておりますので、道路に関して。

5. 1のところ、最初のスライド（スライド

115) の左下の写真を見る限り、堰だか護床工だかのところから、右岸側のほうに行き橋のところまで左岸に行っているというのは、災害査定的な考えで行きますと、もとの水の流れだと推定されます。それが、そのときの出水では、堰だかのところから左岸にぶつかって、橋のところでは右岸に行ったという経歴というか、そういう流れだと思のですが、その次のスライドで、右上の写真で対岸の状況を見ますと護岸が4スパンか5スパンぐらいでずっと長く延長をつくられているように見えるんです。

諏訪 どこのところでしょうか。

質問者1 橋の上下流、下流から3スパンかぐらいで、上の方にも草にまみれながら、何か護岸らしきものが見えます。ということは以前から流れて、従来の水衝部について取付護岸のようなものが災害か何かを受けて、結構長い取付護岸状態だったのではなからうかと。

諏訪 左岸側ですね。

質問者1 右岸の方は、今回、そのときの出水でいきなりぶつかったのだとすると、最小限取付護岸しかなかったのかと思うのですが。ということは取付護岸が今の基準よりはもっと長いのが必要だという結論になるのか、もしくは取付護岸には小口止めで矢板を打ったほうが良いという結論になるのかと思っております。要は、それも川の右岸側の取付護岸がどういう状況だったのかによるかと思しますので、その辺を把握されていますでしょうかという質問です。長くて申し訳ありません。

諏訪 ちょっと記憶が明瞭ではないのですがけれども、たしか護岸はありました。ただ、接続ブロックみたいなものが張ってあったというふうに記憶しています。それから、これは洪水が結構相当大きかった、だから設計超過状態でもあったというようにも思います。ですので、そのダブルパンチかと私は思っています。

質問者1 取付護岸の今の基準がもっと必要だよという証明の事例になるのであれば、今後よりいろいろなところが安全になるのかなという気がしますの

で、できましたらその辺もチェックしていただければと思います。以上です。

諏訪 言い過ぎかもしれないですけど、改めていろいろスライドをつくっていると、設計以内の洪水や水位で大きな被災・破壊が起きることはそんなないのだなというふうに認識していて、やはり設計超過状態のときの工夫をどうやるかということでもあるかなと思っています。そこはある種の工夫の世界なのではないかと思っています。皆さんの方も経験豊富だと思うので、一緒に考えられると良いなと思っています。<注：後日被災前の空中写真を確認したところ、取付護岸の上流側に連節ブロック護岸が施工されていたことが確認できた。>

司会 ほかに御質問のある方いらっしゃいますでしょうか。

質問者2 うちが激特事業でかなり堤防をつくっているのですが、先ほどお話をされた中で、改修もない箇所が被災が多いというようなお話がありました。が…。

諏訪 「多い」ではなくて、被災が「あった」ということです。

質問者2 実はうちでは、堤防を無堤部分、あるいは山つきでも無堤になっている部分とか、もとから積み上げている新堤がかなりあるわけです。今までも重要水防の中でもレベルの高い位置で点検はしますが、今後はそうすると、やはり新堤を重点的に点検していくとか、そういうことでおっしゃったのでしょうか。

諏訪 この話で言いますと、1つは水位を見てもらうと分かるように、設計水位である計画高水位より下なのだけれども大きな被災が起きるということがありました。水理的には水面勾配がすごく急なので速い流速が出ているところで、流れが直角に曲がられませんので、そういうところでああいった直角の河道をつくっていたということは、反省点といえば反省点なのかなとは思っています。それから、この後も都幾川はおそらく洪水を経験していると思いますが、この堤防の該当箇所はその後あまり話を聞かないの

で、復旧するときにブロックを置いたことが効いているのかもしれませんが、必ずしも線形が悪いだけで起きているものでもないのかとも思います。改修直後で草がなかなか生えていないという状態だと、耐力が小さくて、より被災しやすいのかと思ったということです。かゆいところに手が届いていないような答えで申しわけないのですが、そういうことですね。こういうのは経験を踏まえて対策をすればそれなりに維持できているのだと思います。この後多分改修は進めていないと思うので、今もこのままだと思うんですよ。それで耐えていますので。〈注：後日空中写真で確認したところ、上流側の低水路を堤防間の中心に付け替える改修が行われていたことが分かった〉

司会 次、ご質問の方。

質問者3 今日、いろいろと被災の事例だとか、実験の結果から機能の低下のシナリオをたくさん教えていただいたと思うのですが、こういったシナリオをうまく分かりやすく説明するのは、FT図というのがあると思うのですが、そういった図面にまとめていくようなご予定があるのかどうか。そうした図面があると我々現場でいろいろな事象を見るときに非常に分かりやすくて良いのかなと思ひ、ぜひともまとめていただけるとありがたいなと思ひているのですが、いかがでしょうか。

諏訪 私は性格が悪いのかもしれませんが、先ほど「ポイントのまとめ（配布外資料のこと）」も配らなかつたように、やはりひとりひとりが考え

ることが大事でないかなとも思ひていますので、過剰サービスはあまりしたくないなと思ひているんですね。ちょっと答えになっていないかもしれませんが、フォルトツリーも一緒に考えましようということですね。

司会 今日のポイントのまとめの箇条書きはこのセミナーのためにつくっていただいた…。

諏訪 私が説明のためにつくったものですが。

司会 当財団としてはこのセミナーの価値が上がって非常にありがたいのですが、私個人としても、ああいうのをまとめていただけると非常にありがたいというふうに思ひます。

それでは、ほかにご質問はございますでしょうか。

諏訪 逆に私から質問です。やはり現場でいろいろと測れるともっと分かるのではないかという思ひが強くて、一生懸命言っているつもりなんですけど、そこに対してあまり質問がないということは、なかなか関心がわからないということなのではないでしょうか。私もこれからいろいろと「やってくれ」と運動するには、どうやったら突破口が開くのかなという関心があつて、逆に質問したいのですが、いかがでしょうか。埋め殺しの間隙水圧計を現場で設置して測定するぐらいどうってことないのでは、とこちらでは思ひてしまうのですが、いかがでしょうか。

司会 現場から管理されている方、どなたか。

質問者3 我々もきちんと見る目的が分かつて、きっちりシナリオが分かつて、「ここを見れば堤防の管理にきちつと役立つんだ」というのが分かれれば、当然ながらそういう計器をつける、そういう見るパーツをつけるというのは別にやぶさかではないと思ひますので、その辺は一緒にやっていきたいと私は思ひています。

諏訪 じゃあ、説明が足りないということですね。

質問者3 そういうことでもありませんが。

諏訪 ほかに何かご意見はないでしょうか。特に（地方整備局の）現場の事務所の方にお話を聞きた



いのですけど。今日は事務所の方はあまりいらっ
しゃっていないでしょうかね。研究だけで終わるの
は何かもったいないなと。何か現場に役立つように
やりたいという気持ちは持っていますので、コメン
トがあったらお願いします。

質問者4 河川の事務所などにいたときに、橋の取
付護岸とかというのは、一応履行検査などで見るこ
とは見ます。ただし、占用範囲だけが責任になって
しまいますので、そういう意味では先ほどの趣旨か
らすれば、取付護岸のチェックするべきところと、
「道路橋内・鉄道橋内のそれも役に立つんだよ」と
いうことで占用範囲外のところもチェックするよう
に指導するような基準になれば良いのですけれど
も、今のところ基準がないので、相手の責任になら
ないということは、河川側の責任になってしまう
と。ある程度崩れていても「護岸として機能してい
ればいいや」といったチェックになって、例えばブ
ロック護岸がちょっと崩れて接続ブロック状態のワ
イヤーが切れた状態になっても、「まだ機能してい
るだろう」で終わってしまうんです。ということで
あれば、管理基準のほうを少し見直すような方向で
進んでいただければありがたいですけども。

諏訪 ヒントをありがとうございます。

司会 ほかにご質問、あるいは諏訪さんからの問い
かけに対してこう思うというようなご意見がござい
ましたら。

質問者5 ピンポイントな話で申し訳ありません。
自分が分からなかった1. 4、基礎の浮き上がりの
実験のところをちょっと追いついていけずに理解で
きなかったのもう一度ちょっとゆっくり教えて
いただくとありがたいのですけれど。基礎の浮き
上がりと実験の関係のところでは。

その浮き上がり高3cm、5cm云々ということ
自体の設定が私は入り口から入れなかったのです
が。

諏訪 これを説明すればよかったですね（スライド
34）。水路の床と護岸の基礎の下端との間にこのよ
うなフラットバーで固定しましてギャップを作った

んです。それを3cmのもの、5cmのもの、10cm
のもの、20cmのものと4種類作ったということな
のですが、分かりますか。

これが、護岸の一番下の法覆い工を降りていった
基礎のブロックですね。法止めというのかな、そう
いうブロックです。そこと水路の床との間にわざと
すき間を開けたと。このすき間を3cmのすき間を
開けたのと、5cmのすき間を開けたのと、10cm開
けたのと、20cm開けたのと4種類作ったというこ
とです。それで、真ん中に水を流しましたので、均
等と同じような作用が及ぶはずだということで、隙間
の大きさの違いによる相対的な差を見ようとしてまし
た。

質問者5 我々が一般的にいう「吸い出し」破壊と
いうことですね。

諏訪 その通りです。基礎洗掘からの吸い出しとい
うことです。

司会 ほかにご質問等はございますでしょうか。よ
ろしいでしょうか。

それでは、諏訪さまの講演に対しまして、拍手を
いただければと思います。本日はありがとうございます
ました。（拍手）

それでは、最後ですが、本日のセミナーの総括と
いうことで、当財団の河川総合研究所長、藤田から
お話をさせていただきます。

<総括>

公益財団法人 河川財団 河川総合研究所 所長

藤田 光一

藤田 諏訪さん、長時間にわたりご説明いただき、
また、このセミナーのために非常に大部の、充実し
た資料を作成いただき、ありがとうございます。

今の世の中、サービス精神旺盛なプレゼンテー
ションが基調になっておりますが、今日はそれと真
逆の“非サービス精神”で一貫していたように思いま
す。そして、諏訪さんにお話をいただくうち、特に
後段に入ってよく分かってきたのですが、「河川技

術のことは、やはり技術者一人一人がきちんと自分で考えるべきだ」、「こうやれば良いんだという答えが誰かから与えられるということではない」ということが、今日の諏訪さんのお話の根底に哲学としてあったと思います。

特に、今日の主題であるところの、物がどう壊れるか？ということ、そんなに簡単ではなくて、一つ一つの事象をしつこく追っていかなければいけないということが、これまた、まとめたり括ったりにはすぐには行かないで、まずは起こったことをそのまま一つ一つ丁寧に説明するというスタンスが貫かれた諏訪さんのご講演で明確になったと思います。そういう点においても、私も含めて皆さんに非常に良いきっかけを諏訪さんから与えていただいたと思います。

この3回にわたるセミナーでは、何ととっても、冒頭、田中から説明がありましたように、河川の実力を読むということが主題になっています。今日はそのフレーズが相当出てきていました。ある構造物に、特に落差工でしたか、流量に応じてどんな変状が起こるか？あるいは最後被災に至るかどうか？という、それぞれの流量規模で何が起こるかが見えると良いという言葉が最後にいただきましたが、まさにそういうものが、特に壊れてはならない、あるいは壊れると非常に問題が起こる、優先順位の高いものについて分かれば良いですし、それを分かるためには普段の姿の何を見たら良いのか？がはっきりすると良い。それから、今日もう十分お話があった



ように、普段の姿を見ることも大事だが、洪水の姿を見るのも大事だし、後段、諏訪さんから逆に皆さんに問いかけがあったように、洪水を知ること、特に測ることも大事です。それらと、実験だとか水理的な計算を組み合わせて、初めてそういうことまでたどりつけるのではないか？ということをお話いただきました。

私どもとしては、今日のメモ（ポイント）も含めて、それを、さらに諏訪さん、あるいは国総研の皆さんが展開されて、我々により一層明確な形で御教示いただけるようになる日もそう遠くないのかなと大いに期待させていただくとともに、今申し上げたように、それでも、世の中の被災のことが全部分かるわけではなくて、やはりそれぞれの技術者が個々に考える部分が絶対に必要だろうということも合わせて肝に銘じて、このセミナーの内容を皆さんも存分に生かされたら良いと思いますし、河川財団も我々の立場でしっかりとこれを捉えて、少しでも貢献したいというように改めて思った次第でございます。

今日の大部な資料を皆さん持って帰られて、もう一度噛みしめられると今日の話がより立体的に見えてくるのではないかなと本当に思うところでございます。

長い時間、諏訪さん、ありがとうございました。

それから、皆さん、今日はセミナーにお越しいただいてありがとうございました。

以上で、私の総括とさせていただきます。

3回目は、前回のものと、今日の話を受けて、その議論を基調にしながら、我々が本当に川の実力を事前に知ることについて、どこまで技術が来ていて、どういうことをさらに優先的に考え、進めなければいけないかということをお呼びするパネラー、ディスカッションに参加いただく方、会場に来ていただく皆さんのような方を交えながら、さらに深掘りをして、3回の集大成としたいと思いますので、ぜひとも興味のある方は3回目にもお越しただいただければと思います。

今日は本当にどうもありがとうございました。
以上です。

司会 それでは、以上をもちまして、本日のセミナーを終了させていただきます。

次回は、9月27日でございます。またご参加のほうをよろしく願いいたします。



令和元年度

第3回 河川研究セミナー

■ パネラー

福島雅紀（国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室 室長）

土屋修一（国土技術政策総合研究所 河川研究部 水循環研究室 主任研究官）

諏訪義雄（国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川構造物管理研究官）

佐々木哲也（国立研究開発法人 土木研究所
地質・地盤研究グループ 土質・振動チーム 上席研究員）

■ ファシリテーター 藤田光一（公益財団法人 河川財団 河川総合研究所 所長）

■ 司会 公益財団法人 河川財団 戦略的維持管理研究所 所長 田中敬也

■ 用いた資料

- ・ 第3回河川研究セミナー資料
- ・ 河川の実力把握手順検討台帳（イメージ）（A3版－両面コピー1枚）
- ・ 第2回河川研究セミナー資料
- ・ 第1回河川研究セミナー資料

開催日：令和元年9月27日（金） 午後4時から6時

場 所：AP 秋葉原にて

セミナー記録目次

1. 開会

2. 本セミナーのねらいを改めて説明

- ▶ ディスカッションの主題である「河川の実力」が意味することを念入りに説明
- ▶ ディスカッションを聞きながら考える作業台としての活用を期待して配布した「河川の実力把握手順検討台帳（イメージ）」（A3版）についての説明
- ▶ 河川維持管理の次のステージに向けての方向性

3. 本セミナーの進行の仕方

4. 福島雅紀氏による第1回セミナー講演の要点の提示

- ▶ 洗掘及び侵食による破堤リスクに関して、危険な箇所を見破るためのポイント-河道を中心に

5. 諏訪義雄氏による第2回セミナー講演の要点の提示

- ▶ 侵食点検のポイント-洗掘・侵食による堤防破壊の可能性を見据え、構造物を中心に

6. ディスカッション・パート-その1

- ▶ 「河床は洪水に変動するはず。平常時の把握だけでは限界があるのではないか?点検において洪水時の河床変動をどう見ていったら良いのか?」についての議論
- ▶ 「堤防中心にした徒歩点検で普段の河川を定期的に見るというやり方だけで良いか?限界があるのでは?現場を見る前に、当該河道についての情報を整理・分析しておくことも大事なのではないか?だとしたら、そのポイントは?」についての議論
- ▶ 河川維持管理などについて河川の専門家の側から「こういうことができる新しい技術を欲しい」という具体のニーズをどう出せるか?についての議論

7. 佐々木哲也氏によるショートレクチャー

- ▶ 河川堤防の浸透安全性の確保に向けて
 - ✓ 堤防の被災は局所的な弱部を突いて発生
 - ✓ 事前調査を、それ（局所的な弱部）を把握できるものにしていくことが重要-そのために、いくつかの手法を組み合わせることも有用
 - ✓ それでも事前調査には限界あり→出水経験を点検評価の精度向上、そして堤防強化に活かすことが重要
 - ✓ 現行の詳細点検では、「破堤につながるような変状が起きるかどうか?」が評価できているか?-本セミナーの主題に絡めて

8. ディスカッション・パート－その2

- ▶ 堤防の浸透破壊現象における「洪水作用の履歴性」の効果をどう考えるか?についての議論
- ▶ 対浸透破壊現象に関する局所弱部を把握するための詳細調査をどう効率的に行うか?どう実現可能にするか?についての議論
- ▶ 点検評価等で見ているものと、見るべきものとのギャップにどう橋渡しをしていくか?についての議論
- ▶ 河道の洪水流の詳細な情報（[洪水位や水面勾配、流速など]の細かな縦断変化など）をリアルタイムで把握・予測するシステムの実装を受け、これをどう活用していくか?についての議論

9. ディスカッション・パート－その3

- ▶ 研究所の人間から現場実務を担う技術者へのメッセージ: こういう取り組みが大事だ! こういうことを是非考えてほしい!
- ▶ 現場実務を担う方からの声: 現場の志気が上がる好事例を共有したい!
- ▶ まとめコメント

10. 閉会: 関 克己 理事長による挨拶

1. 開会

田中（司会） 本日の進行を務めます、河川財団、田中です。よろしくお願いします。

本日、受付におきまして、「第3回河川研究セミナー」という資料をお配りしております。それから、第1回、第2回の当セミナーの資料もお持ちくださいと事前にお伝えしています。本日のセミナーは、これら3回分の資料を使いながら進めて参ります。第1回、第2回のセミナーの資料は受付にも用意しておりましたが、今これらをお持ちでない方がいらっしゃいましたら、後ろで事務局の者が手を挙げておりますので、取りに行ってくださいようお願いいたします。

本年度の河川研究セミナーでは、「平常時に河川の実力を読む技術、それを生かす方策」を共通テーマとして、第1回、第2回では国総研の方々に講師にお招きし、ご講演をいただきました。本日の第3回目は締めくくりとして、ディスカッション形式を中心に行います。

前回のご講演で諏訪様から「セミナーにご参加の皆様にもぜひ自ら考えてほしい」というご発言がありました。私どもも、この点が大変重要と考えており、締めくくりの今日のセミナーで、単にパネルディスカッションを聞くという感じではなくて、聞きながら皆様も頭をフル回転していただければと思います。そのような趣旨から、第1回、第2回のセミナーの資料を持参いただきたいと事前をお願いしたわけです。

では、パネラーとファシリテーターの紹介に移ります。〈紹介は略〉

それでは、早速、ディスカッションに移ってまいります。ファシリテーターの藤田所長、よろしくお願いいたします。



2. 本セミナーのねらいを改めて説明

▶ ディスカッションの主題である「河川の実力」が意味することを念入りに説明

藤田（ファシリテーター） どうぞよろしくお願いいたします。

最初にセミナーのねらいを改めて説明させていただきたいと思います。このセミナーは「河川の実力を読む」と銘打っています。比較的新しい言葉で、参加いただいている方の中からも、その意味が今一つ把握できないという声をいただいています。今日のセミナーでは、その理解が非常に重要で基盤になりますので、少ししつこく説明します。それで〔スライド1〕に「改めて」を付けました。

〔スライド2〕は第1回でお示したものの再掲です。ここにある文言だけでは少々分かりにくいということと、2時間弱という限られた時間を有効に使っていききたいということから、もう一段焦点を絞った説明をしていきたいと思います。

そのための大事な前ふりとして、国土交通省の河川砂防技術基準維持管理編を見ていきます。〔スライド3〕は「河川維持管理目標」のところですが、目標ですから非常に大事ですね。「第1節 一般」のところにも〈標準〉としてこのような内容があります。洪水、高潮、津波等による災害の防止については、具体的対象として河道流下断面の確保、これは流下能力の確保に対応するものですが、それから施

設の機能維持、この2つに分けて設定するとなっています。これらは目標ですから、これらが出発点になります。

そして、1つ目の河道流下断面の確保にかかわる目標設定については、〔スライド4〕にあるように、「これまでの河川改修等により確保された流下能力を維持することを基本とする」、それから、「大河川においては、流下能力を算定するに当たって、定期的な縦横断測量や河床材料調査等の結果から水理計算を行うことを基本にする」、つまり計算しろと、書いてあります。大河川については、基本として水理計算をしっかりと行って流下能力を出さない、ということです。

今日の主題は次の〔スライド5〕の方になります。「施設の機能維持」という、もう1つの目標設定についてです。「3. 1 基本」のところにその考え方が示されていて、この太字のところ、これは私が勝手に太くしたのですが、ここが大事です。

どう書いてあるかという、〔施設の維持すべき機能に支障を及ぼす変状の度合い〕、つまり、変状があると、維持しなければならないその施設の機能が下がり支障が出てくるわけですが、その度合いについては、「現状では一部を除けば定量的に定めることは困難」、つまり、これぐらい変状があると、こういう支障が本来維持すべき機能に出る、ということ定量的に把握するのはなかなか困難である、と言ってるわけです。これが現状であります。ですので、「変状の経時的な変化を把握し、変化の度合いを判断しながら機能を維持することが基本である」、これが今はベースになっているわけです。

本日、国総研と土研の皆さまにお越しいただいて議論していただくことの主題は、今の技術基準はこのようであるとして、技術的な動向、これからどのように技術発展が見込めるかによって、今お示した現状のやり方から、さらにステージを上げられる可能性がどのようにあるのか？そこになります。

というわけで〔スライド6〕です。今の河川維持

管理は技術基準にしたがってしっかりやっているわけです。その上で、次のステージとして、変状の度合い、これには河川の現状も入ると思いますが、それと施設の維持すべき機能にどういう支障が出るかというその度合い、両者の定量的関係に基づく評価と判断ができるようになる世界が来るのか？どれくらい早く来るのか？このあたりを、基本的には技術的な進捗の観点から、今日パネラーとしてお越しいただいている皆さんに、過去2回の講演内容も適宜振り返りながら、お考えを出していただき、議論して詰めていきたいというのが本日の大きな狙いです。

〔スライド7〕は、やはり第1回の資料を再掲したものです。横軸が洪水の規模で、縦軸が構造物の変状の進展を表します。洪水が来る前の平常時に、変状（健全な状態からのずれ）があったとして、その変状が小さければ、洪水が大きくなってもそんなに深刻な変状発達は起こらないけれども、平常時の変状がある程度大きくなっていくと、その発達度合いは厳しくなって、破壊と被災の可能性の出現・増大というゾーンに入っていく、という概念的なことを書いています。そうすると、看過できる、そして看過できない閾値みたいなものがあるのではないかと？そういう説明にもなります。

こここのところをもう少し詳しく説明したいので〔スライド8〕を出します。これがキーになる図です。この図が、しつこいですが、このセミナーの主題としている「河川の実力」の考え方はこういうことだ、ということ説明するもので、ここを皆さんに理解いただくことが今日の議論のベースライン（出発点）になります。

横軸が変状の度合いです。縦軸が、例えば堤防など施設があって、施設に本来機能がありますが、その維持されなければならない機能が損なわれる洪水の規模を表します。つまり、洪水の規模がどれくらい大きくなったらその施設が本来維持すべき機能が損なわれるか、が縦軸です。

〔スライド8〕の縦軸と横軸の間の関係を表す線

は、典型的ものをイメージしたポンチ絵ですがけれども、このスライドの図の意味をこの線から説明します。横軸が0、つまり変状が全く無くて施設が健全であったならば、所定の水位、HWLがその代表になると思いますが、それを少々越えても本来機能は損なわれないようになっているはずです。ところが、だんだん劣化して変状が起こってくると、つまり横軸の値が右に移動していくと、HWLに達していなくても機能が損なわれるようになる。そうすると、HWLの洪水規模までは何とか機能を保ってほしかったのですが、そうはならず、そのことによる支障度合いが〔スライド8〕の中のこの縦矢印の長さで測れることになります。そして、先ほどの閾値の議論をこの図で言うならば、本来ここまでは持つてほしいという洪水規模よりも小さい洪水規模で機能が損なわれるようになり始める、そのぎりぎりの変状が閾値にあたる、ということになります。この「閾値」と書いてあるところです。

〔スライド8〕にあるこのような線が本当に分かるのであれば、科学的、技術的に相当はっきりした評価ができることになるのではないかと。そのような世界が早晚来るのか、そのあたりをパネラーの皆さんにお聞きしながら、会場の皆さんとも考えていきたいということでもあります。

〔スライド9〕に、その線の色々なバリエーションを、これもポンチ絵ですが描いています。極端な線も入っていて、現実と今すぐにリンクするわけはありませんが、このような線から頭の体操をしておくことも、この図の意味や意義をよく理解することに役立つと思います。もし、こういう線（3つあるうちの一番下の線）だとすると、変状は“地味”でも実は機能が損なわれて、良くないことが起こる可能性が出てきているパターンとなります。逆にこちらの線（3つあるうちの一番上の線）は、変状が派手ですが洪水になってもそんなにひどいことにならない。線がこのように描き分けられるようになると、今よりさらに良い形で点検評価が行えるようになると期待でき、また、その際にはどのような点検評価

のフレームになるのか、に興味が湧いてきます。

逆に、〔スライド10〕にあるように、線を描く精度が出なくて、こんな幅の広い線になるとすると、判断にもすごく幅が出てきてしまいます。現状で、どの程度の幅の線なら描けるのか、それに見合う判断の信頼度はどうなのか、そしてこの先、線の幅が細くなり、判断の信頼性が高くなっていく見通しはどうか、このあたりも一つのポイントになるということでもあります。

というわけで、今日のセミナーの目標を〔スライド11〕にまとめています。まずは、施設の維持すべき機能の中でも堤防に絞るということです。護岸とか根固めとか水制とか、堤防の機能の保持に係る施設は当然含めますが、時間も2時間なので、対象を堤防にします。その上で、「堤防が危なくなる洪水規模を、平常時の河川の姿と当該施設の変状（元構造を含む）から定量的に評価する技術がどこまで可能になっているか？」という問いの答えを探ろう—これが目標です。洪水規模を表すのに、水位以外に、その継続時間や他にも色々な指標があると思いますが、ここではとりあえず洪水規模を水位で表すことを基本にします。そして、「この評価を実務で実行するには、技術面を中心に、これから何が必要か？」の答えを探ることも目標にします。こここのところは、お越しいただいているつくばの研究所の皆さんにご指導いただくところが大きいと思います。

以上の目標に向かって皆さんと一緒に要所の理解を得られれば、というのが本日の三回目のセミナーの目的です。

〔スライド12〕の最初の項目は、〔スライド8〕や〔スライド9〕のような図が書けるようになると何が良いかの念押しです。当然のことながら、平常時の河川の姿と当該施設の変状のもとで、所定の規模（HWLの洪水などが代表）が生起した時に、堤防の維持すべき機能に支障が出ないかどうか？要するに必要な基本的条件を満たしているか？が評価できるということなのです。

以上のように議論の仕切りを設定し、絞り込みを

してきているので、今の項目の下にあるとおり、本日の議論では、越水破堤、それから河道流下断面確保の話は対象外になります。したがって、侵食、洗掘、浸透（パイピングを含んで）、このあたりの非越水での堤防破壊という現象が主な対象になります。

以上のように、「河川の実力」の意味を、再度かみ砕いて説明させていただきました。今日は、その中でもかなり絞り込んで、今スライドでお示したようなところに焦点を当てて、4名のパネラーの方にいろいろお話を聞きながら、会場の皆さんとも考えていく構図にしたいと思っております。

よろしいでしょうか。大方はご理解いただけましたでしょうか。「河川の実力」の意味について分からないということがありましたら、ご質問をいただき、その意味を確認いただきたいと思います。ここがスタートラインなので、よろしいでしょうか？

▶ ディスカッションを聞きながら考える作業台としての活用を期待して配布した「河川の実力把握手順検討台帳（イメージ）」（A3版）についての説明

藤田（ファシリテーター） これから本題に入り、ディスカッションなどが始まりますが、それを皆さんがお聞きになる時に、メモを取って考えたりする作業台にと、A3版両面コピーの紙を1枚、第三回セミナー資料とは別に本日用意しました。同じものを今スクリーンに映しています〔スライド：A3資料〕。

「聞きながらメモしろ」と皆さんに強制するものではありませんが、これから色々な話が出てくる中で、内容をその場で頭にどう入れ、どう整理していくか？が大事になると思ったので、そのようなことの助けに少しでもなればと作ってみたのがこれです。「河川の実力把握手順検討台帳（イメージ）」と書いています。一連のセミナーの内容とこの台帳とのつながりを取り上げて、この使い方のイメージを説明してみます。

セミナーの1回目と2回目に福島さんと諏訪さんにお話しいただいたのは、台帳にある「維持すべき堤防の機能が支障を来すメカニズム」、あるいは、こういう経路で物は機能を失い壊れていくという「現象経路」の内容にあたります。そこを、しっかりした技術的バックボーンをもってお話しいただいた、ということになります。

つまり、護岸というのはこういう形で壊れるというパターン・経路が、お二人のお話から見えてくるということです。例えば、護岸の基礎のそばの河床が下がって、基礎工の下面と河床との間に隙間ができて、そこから護岸背後の土が出てしまい、護岸全体が沈下したりして破壊するという経路がありました。あるいは、もう1つ、護岸範囲の上流端が弱点となって破壊するパターンもありました。それから、根固め工の変形がどれくらい進むと、護岸の基礎を守る機能に支障を来すのか？のお話があり、そこから、根固め工が限度を超えて変形して護岸が危なくなるというパターンも示されました。また、普段の姿からこれがこの川の河床材料と思えるものが、本格的な洪水が出ると、全部引っぺがされて“本当の河床材料”が出てくる場合があり、この現象が場合によっては堤防に侵食を起こすことになるというお話もありました。これも堤防破壊につながる経路の1つと言えます。このようにして、セミナーの1回目と2回目での福島さんと諏訪さんのご講演の内容は、まさに、いくつかの代表的な堤防破壊の起こり方を具体的に示していたわけです。

そうなりますと、“ある壊れ方”に対してどれくらい安全かを見たいと思った時に、その壊れ方の経路が分かっていることになるので、それを念頭に置くことで、河道の現状だとか現在までの変化履歴について特に何を調べるのか、その結果をどう整理するのか、こういう整理法をしたら良い、ということが具体的に見えてくるはずです。それが、〔スライド：A3資料〕の「河川の実力把握手順検討台帳」の1番上の欄に書く内容になります。

それから当然、堤防など対象とする施設につい

て、現状、元々の状態、それからの変状を調べることが大事になりますが、ここでもやはり、想定する壊れ方の経路が見えているので、特に何を調べ、どう整理するか、が具体的に絞られるはずです。それが、「河川の実力把握手順検討台帳」の2番目の欄に書く内容になります。

次に、その施設に作用する外力を整理することも大事になります。これについても、想定している壊れ方の経路を頭において、どのような規模の洪水をターゲットに、洪水位はもちろん流速だとか摩擦速度など、どのような量に着目して、どの地点のものを整理するのか、といった詳細な整理法を詰めていくことになります。諏訪さんからも福島さんからも、水理外力というものが経年的に、川の改修等も含めて変わっていくことが1つの見るべきポイントだという話がありました。想定している壊れ方についてその点が重要であれば、外力の経年変化をどのように押さえるのかも整理することになります。このような内容は、「河川の実力把握手順検討台帳」の3番目の欄に来ます。

そして、ここまで整理してきた情報から、つまり、埋めてきた上3つの欄の内容を使って、大命題であるところの「堤防の維持すべき機能に支障を来す洪水規模」、「維持すべき機能が発揮されるかどうか」、「維持すべき機能に支障を来す変状レベル（閾値）」を検討することになります。この検討のやり方や判断の方法が「河川の実力把握手順検討台帳」の4番目の欄に入ることになります。ターゲットとする壊れ方が技術的に分かっていることが、この欄に入る内容を詰めるためのとても大事な土台になります。その上で、壊れ方、その経路の理解から、それを詰める具体的で実践的な方法が定まってくれば、4番目の欄を埋める作業がいよいよ実務レベルになってくると期待できます。今の技術レベル、そして少し先の展開を見据え、そうなる見通しがどうか、どのようにしたらより早くそうなるか。そこも今日の議論の大事なターゲットになっていくと思います。

さて、1つの破壊メカニズム（壊れ方、その経路）について以上のようなことができるようになると、これは「河川の実力把握手順検討台帳」の1つの列にある欄を埋めることにあたりますが、他のメカニズムについても、その作業を広げられないかと言うことになります。つまり、色々な破壊メカニズムについて対応する列の欄を埋めていき、最終的に、対象とする施設について想定すべき破壊メカニズム（壊れ方、その経路）の全てについて、台帳の欄を埋めていこうということです。そうなれば、その施設の破壊の総合的な可能性をシステムティックに評価することにつながっていくのではないかと、いうことです。

いきなりそこまで行かなくても、このような世界をつくっていくという方向を頭に置きながら、過去2回のセミナーで講師の方々からお聞きした内容を、あるいは本日の議論で出てくるポイントをこの表に書き込んでいく。そのようなイメージを持っていただくと、先ほど私が申し上げた「皆さんが、本日の内容をその場で頭にどう入れ、どう整理していくか？」の何かの助けになるのでは。そのように思って、こういう資料〔スライド：A3資料〕を作りました。

▶ 河川維持管理の次のステージに向けての方向性

藤田（ファシリテーター）〔スライド#〕は皆さまに本日お配りした資料にはないものです。河川維持管理をさらに発展させて“次のステージ”に持って行く方向性について、材料があった方が良くと思います、スクリーン映写用に用意しました。

今は、「変状の経時的な変化を把握し、変状の度合いを判断しながら機能を維持する」、これは先ほど紹介した技術基準にあるものですが、これをしっかりやっているわけです。その上で、次のステージに向けての議論としては、これをやりながら、加えて、〔スライド#〕のここ（下方）にある「破壊メカニズムベース」のやり方も実践していくという方

向を目指すべきではないか、ということです。つまり足し算で次のステージに持って行くということです。破壊メカニズムベースのパーツが加わると、より合理的な、より重点をうまく定められるような、そういうステップアップにならないだろうか、と期待してのことです。

まずは、施策形成の見通し以前に、そもそもこれが技術的にできる見通しがどれくらいあるのか？が大事です。パネラーの皆さんのお助けをいただきながら、こうした方向性について技術面を中心に皆さんが考えるきっかけにもなるように、本日のセミナーを進められればと考えています。

3. 本セミナーの進行の仕方

藤田（ファシリテーター） 本日配布の資料以外に、過去二回の資料をお手元に用意いただいています。福島さん、土屋さん、諏訪さんにご講演いただいた際の資料です。よろしいですね。

それで、本日の進め方ですが、まず、福島さんと諏訪さんそれぞれから、過去二回の発表の要点と念押し点を簡潔に提示いただければと思います。5分から10分ぐらいでお願いできればと思います。その際、私が今お話しした趣旨、あるいは先ほど説明しましたこの表（〔スライド：A3資料〕のこと）も、可能な範囲で意識していただければと思います。

佐々木さんにお越しいただいたのは、ご専門の堤防浸透破壊に関わる技術を軸に今日の議論に加わっていただくためです。佐々木さんは一連のセミナーでは初めてのご参加ですので、まずショートレクチャーをいただきます。そのために、「河川堤防の浸透安全性の確保に向けて」というしっかりした資料をつくっていただいています。その上で、今、私が申し上げたような河川維持管理の次のステージへ向けた論点について、アドリブで対応いただく面もあって申し訳ないのですが、少し加えていただけると、全体がつながると思っております。その分があ

りますので、全体で20分ぐらいを想定しています。

土屋さんは、物を壊すのは何といても河道を流れる洪水の力なのですが、その洪水の状況をリアルタイムで詳細に把握する技術の開発・実装（水害リスクライン）に取り組んでいらっしゃいます。その内容を1回目のセミナーでお話しいただきました。その成果を、河川維持管理をさらに良くしていくためにどう活用していくか、そのあたりのコメントをいただきながら、ディスカッションに加わっていただければと思います。

以上の後に全体的な質疑に入ります。先ほど司会の田中からも言いましたように、会場にいらっしゃるご参加の皆さんからも是非、普段お感じになっている疑問点とか、こういうことができないだろうか、あるいはご自身のお考えを、これを機会に披露いただければと思いますので、どうぞよろしくお願いいたします。

4. 福島雅紀氏による 第1回セミナー講演の要点の提示

▶ 洗掘及び侵食による破堤リスクに関して、危険な箇所を見破るためのポイントー河道を中心に

福島氏 それでは、私から1回目の要点をお話しさせていただきます。

1回目の私の話は、「水位情報から読み解く河道の状態」ということで、河道の状態にフォーカスを



して話をさせていただきました。河道の状態が変わると、結局流れが変わって、堤防に作用する外力が変わって堤防の侵食破壊を引き起こすことがあるということ。特に先ほど、藤田ファシリテーターからお話がありましたけども、もともとあった河床材料が大きく変化するという話も、通常、平常時に見ている河床材料と洪水時に動く河床材料が違う川があるという話を1回目にさせていただきました。そんなのが中心だったということで、そういう中でもポイントを改めてご説明差し上げたいと思います。

〔スライド13〕の1項目目は、皆さん、ここに来ている方にとっては言わずもがなのところはありませんけれども、河川は自然公物ということで、河川の基本構造である河道は常に変化しています。特に、出水によって大きく変化することがあるということを認識しておくことは河道を管理する上での大前提です。

改めてこの話をさせていただいたのは、1回目の私の講演の資料をまた後で見ただけならばと思いますけども、出水を受けて被害が生じなかった河川においても、樹木群が急激に拡大するような河道の変化が起こったりとか、土砂が大きく堆積をするような変化が起こったりとか、滯筋が大きく変化するような変化が起こったりします。川を改修する時にはうまく流すようにつくっているのですが、その後の河道の変化で想定した以上の外力が堤防に作用するようになるというようなことがあるということ、また改修区間の周辺に生じる変化にも留意する必要があることを1回目のセミナーで話させていただきました。→〈〔スライド13〕の2項目目〉

特にということで紹介させていただいたのが、ある川の堰の改修前後の上流区間への掃流力の変化の話です。改修区間の上下流というのは、摩擦速度だとか川底にかかる力だとか、それを引き起こすような水面勾配が（改修の前後で）変化することがあるので留意した方が良いでしょうという話をさせていただきました。→〈〔スライド13〕の3項目目〉

こうした変化に対して、施設として十分な耐力を

持っているのかどうかについて、そもそも自分の管理している河道の特性、例えば出水時に河床高はどの程度の変化するのかというような河道の変化の特徴を把握しておくのが大事だという話もさせていただきました。次のページ〔スライド14〕で、着目すべき特性や変化の特徴についてお話しします。→〈〔スライド13〕の4項目目〉

堤防点検については、その延長が長いことから多大な労力が必要と言われますが、河道を点検するためには、堤防から川の中へと移動し、足元の悪い中で河道をくまなく確認するのはさらに大変だという話をさせていただきました。そこで把握した河道の特性だとか、変化の特徴から危険な箇所を判断するための閾値を設定することが大事だよという話をさせていただきました。→〈〔スライド13〕の5項目目〉

最後に書かせていただいているのは、長い区間を確認しなければいけないので、国総研と九州地整さんで作ったシートがあるんですけども、「河道管理基本シート」というシートを紹介させていただいて、河道全体を俯瞰できる資料をということで、どこが危ないのかということをあらかじめ自分たちで把握しておくことが大事だよということを紹介させていただきました。→〈〔スライド13〕の6項目目〉

2枚目の〔スライド14〕では、着目すべき河道の特性や変化の特徴について挙げさせていただきました。1つは（左側の列の1項目目）山本図ですね。1回目の資料の何ページ目かにありますけども、そもそもだいたい日本の川というのは、セグメントに分けられて、そのセグメントごとに川底にかかる力、摩擦速度とそこに存在する河床材料というのがだいたいこんな関係にあるよということが分かっているんで、それを参考にすると、平常時に見た川の姿というのが実は穏やかな川に見えるけれども、実際、いざ洪水が出ると、すごい石が流れる川になると。河岸にかかる力もすごく大きいのだということ想像できるということ、日ごろから想像力をもって川を見るということ、1つのポイントとし

て、この山本図というのを役立てないかということで紹介させていただきました。

2つ目（左側の列の2項目目）は、沖積層の厚さというのも河道の特徴として考慮する必要があるということで、川底が掘られた時に、通常の河床材料があるという場合ばかりではなくて、土丹層のような材料が出てくる河川があることを紹介しました。そうすると、川底が急激に削れたり、局所的に削れたりするようになり、管理が難しくなるといった話をさせていただきました。

3つ目（左側の列の3項目目）は、護岸の設置箇所や基礎高を確認しておくことが大事だよという話をさせていただきました。河川整備は、長い年月をかけて実施されてきているので、護岸の施工履歴だとかはなかなか残っていないという状況もあるようですが、こうした基本的な情報を残していくのが大事だということを改めて話させていただきました。堤防の侵食、基礎からの侵食破壊を防ぐという意味で重要です。

その次（左側の列の4項目目）が摩擦速度の縦断分布ということで、これは後から話す土屋さんの話題とも関係するところですが、川底にかかる水の力、摩擦速度の縦断分布がどう変わるかということが大事です。先ほど改修区間の上下流での摩擦速度が変化という話がありましたけども、改修前後における摩擦速度の変化を確認することの重要性について触れました。

（左側の列の）一番下は前回話をしていませんけども、中規模河床波、いわゆる交互砂州ができるのか、複列砂州ができるのか、砂州がそもそもできないのかということ、河岸にかかる力を評価する上で大事な指標なので、いろいろな判断材料、河道計画検討の手引に載っている図表や式等を用いて確認しておくことの重要性についても付け加えさせていただきます。

また、こういった河道の特性を把握した上で、河道の変化の特徴はどのようなかということ把握しておくのも大事だということで、変化のタイプとし

て、じわじわ型とか、特定イベント時進行形だとか、特定イベント時完結型だとか、そういう変化の特徴について述べさせていただきました。→〔スライド14〕の右側＞こういう変化の特徴を知っているというのは、自分の管理する川が出水時にはどの程度変化するのか、例えば1m掘れて1m戻るとか、そもそも砂礫層が50cmしかなく下層は土丹層だとか、いやいや簡単に2m程度は掘れている、などを知っているということです。もしくは長年かけて年間50cmずつ低下しているということ認識していて、こうした状況を踏まえて改修を考えているなどといったことです。こうした話が〔スライド14〕の右側の上から4項目目までです。

また、局所洗掘とは別に側方侵食の話がその下です。側方侵食によって滞筋がどれだけ移動するかということで、高水敷は堤防の侵食代として扱われ、堤防防護ラインが設定されます。この防護ラインですが、1回の出水ではこのぐらいまで大丈夫だろうということで設定されますが、昨今、何波も連続して出水が発生する中で、実際に堤防防護ライン、どのぐらいあれば良いのかということも考えていく必要があります。側方侵食のメカニズムや河道の特性を把握することで、必要な高水敷幅を想定できると考えますが、従来の河床変動計算では予測は難しく、今後開発が必要な項目であるということで紹介させていただきました。

最後ですけども（〔スライド14〕の右側の6項目目）、どの程度の出水規模以上で砂州が移動するか、砂州上の植生は破壊されるかということで、意外と川は変化するという話を最初にしましたけれども、私が過去10年とか、そのくらいの被災の履歴を調べてみると、大きく砂州ができたりとか、砂州が移動したりするときに、河岸に水衝部が変わって、その水衝部がやられているということが多く見受けられますので、河道の変化の特徴、変状を見るときに、砂州の動き、今後、そこに固定されて大きくなりそうか、もしくは移動して水衝部が変わりそうかというようなことに着目すると良いのかなと思っ

て、こんな項目も改めて入れさせていただきました。

河道の特性、変化の特徴を捉えるということで、こんなところに着目していただければということで、紹介をさせていただきました。

藤田（ファシリテーター） ありがとうございますました。

今の福島さんのお話には、先ほどお示したA3の紙（「河川の実力把握手順検討台帳（イメージ）」）の欄を埋めるのに役立つ内容がたくさんありました。

まずは「河道の現状はどうであるか、河道がどう変化してきたか」の欄を埋めるのに参考になります。それから、その欄の2つ下の欄、ここは代表規模洪水による水理外力の整理内容を入れるところですが、これにはまさに福島さんのお話の中の u_* （摩擦速度）に関することが参考になります。 u_* を使ってどういう形で整理すれば良いのかということ、かなり具体的な形で示唆いただいたと思います。

それから、福島さんが「山本図」と紹介された平均年最大流量時の摩擦速度 u_* 二乗と河床材料粒径 d との関係を表した図（第1回河川研究セミナーにおける福島氏の講演資料の23枚目と25枚目のスライド）を使って、普段見えている河床材料が、大きな洪水の時にも河床材料として居続けるのかどうか？の前さばき判断をするというような話は、その一つ下の欄にあることを判断するための算定と判断の方法になっていくと言えそうです。

このようにして、研究所から出てくる個々の貴重な知見をどのように集約し、どのようにして最終的に点検評価のフレームに持っていくか？が今日のセミナーの大事なポイントで、福島さんのお話の内容からも早速そのような道筋が見えて来たなと思って、A3の紙（「河川の実力把握手順検討台帳（イメージ）」）とつなげた補足の説明をちょっとさせていただきます。

質疑をやりたいのですが、福島さんからのお話は

次の諏訪さんの扱うことと一体なので、諏訪さんのお話をいただいてから、合わせて皆さんからの質疑を受けたいと思います。では諏訪さん、どうぞよろしくお願いいたします。



5. 諏訪義雄氏による 第2回セミナー講演の要点の提示

▶ 侵食点検のポイントー洗掘・侵食による堤防破壊の可能性を見据え、構造物を中心に

諏訪氏 今、ご紹介いただきました諏訪です。私の講演で説明したかった意図は、被災実態の分析、あるいは、水理実験から得られた構造物の破壊メカニズムや応答特性をもとにこういうところを点検したら良いんじゃないかということが分かったので、その点検のポイントということで、私は話をさせてもらいました。だから、劣化曲線とか、そういうことをつなげるという手前のところのことをお伝えしたいと思ったところであります。

それで、そこを要約すると、ここに出ているもの〔スライド15〕になるんですけども、まず、1つ目の〈堤防被災分析〉というのは、前回で4. 1（第2回河川研究セミナーにおける諏訪氏の講演資料の78～82枚目のスライド）というところのエッセンスになります。ここではまず（一つ目の・）、破壊の堤防の被災がセグメントで大きく特徴があるよということを申し上げました。特に侵食は、セグ

メント1とか2-1というところで、もうほとんどだということですね。セグメント2-2、3というのは、実態というものから集めたものから見ると、ほとんど侵食被災は見つからなかったということがあります。ただ、まったくないかという、そういうことではなくて、高水敷幅がものすごく狭い堤防が一体になっている、いわゆる堤防護岸がつくられているとか、そういう場所においては、大切ななというふうには思います。それから、あと、ちょっと見落としがちなところで、セグメント3とか湖沼ですと、風浪というもので被災が起きますので、そういったことにも注意が必要ですよということでお伝えしたかったところでもあります。だから川によって点検するポイントがあるということをお伝えしたかったということでもあります。

その下の・の内容は、今日は寒地土研の方もいらっしゃるの、後から補足してもらっても良いかもしれませんが、侵食のここ最近の被災というのが札内川であるとか、あるいは音更川なんかで見られておまして、こちらは分類で言うと、侵食被災も表面の流速で、せん断力で削れる表面侵食というものと流路が移動する側方侵食というものに分けられると、私は思っています、この札内川、音更川は、どちらも側方侵食の破堤であったということでもあります。

ただ、ここでまた点検のポイントというか、重点を置くためのポイントといたしましては、これはどちらも破堤はしたんですけれども、幸いなことに河床が非常に下がっていて、水位が堤内地を越えなかったんですね。一般被害が非常に小さくて済んだということでございまして、これは裏返すと、洪水時の水位が堤内地盤高を越えやすいと、そういうところこそむしろ注意するべきだというふうには私は思っています、そういうことをお伝えしたかったということでもあります。

次が護岸です（〔スライド15〕の<護岸被災実態（主として中小規模洪水）>）。これは私が説明した中では1. 1（第2回河川研究セミナーにおける

諏訪氏の講演資料の4~13枚目のスライド）というところのエッセンスのつもりであります。それで破壊が幾つか分類できまして、7つぐらいに分類していますけれども、そのうち基礎からの破壊と、こういうものについての点検のポイントとしては、まず、がっちりした護岸ですと、目視だけでは分からないんですね。上は、がちとして踏ん張って、裏に空洞ができるかということが起きます。そういうものは目視だけでは分からないということになります。なので、むしろ、こういうところは現場で見るとということもあるんですけども、それよりは護岸の基礎の高さとか、根入れの高さというのと護岸の前面の河床高の比較、こちらのほうがよっぽど有効であるというふうに思いますので、何でもかんでも現場に行けば良いというものではなくて、まずはデータを整理してから行くということが良いのではないかということが言いたかったというのが1点目ですね。

それから、あと、2種類目として、上流端からの破壊というものがございますし、あるいは流体力による破壊というものもあるんですけども、これらはどうも複合して起こっているなというふうには、いろんな被災実態を見ると、私は思いました。これはむしろ、私は現場の知恵かもしれないとも思っていますけれども、上流端にすり付け護岸なんかがありましたら、それが被災すると、その後、復旧という形で、よりがっちりした護岸がつけられるということもあるので、もしかすると、これはもう想定の内側なのかもしれませんけれども、そういうものであるということですね。

それから、あと、逆に言うと、がっちりした本護岸で当該河道の中でずっと実績があるというものでありますと、流体力破壊単独というのは見られなかったなというのが、私の調べた実態でございませぬ。

次、3つ目といたしましては、下流端、施工端からの破壊というのは上流端以外に下流端からの破壊というものもあります。これに関しては、むしろ護岸

の施工範囲の不足ということに帰着できるかと思えます。ただ、護岸の施工範囲の設定に当たっては、湾曲したりしている河道の形が重要です。そういう場合には、特に湾曲河道では、洪水の規模によって水衝部の場所が変化しますので、こういうことを知っている必要があるということが実例をもってお伝えしたつもりでございます。特に湾曲の水衝部ですと、必ず洗掘も伴いますので、こうなると、複合した災害になりますので、またより要注意度が高まるというふうに私は思います。

それから、⑤が（5つ目の・）、これは今度は天端から破壊です。護岸の高さよりも高い天端からの破壊というのがあります。私が紹介したものは、むしろ堤防というよりは掘り込み河道の護岸の破壊みたいなのが多かったかもしれませんが、こういう天端からの破壊というのは、考えてみれば当たり前のですけれども、流速の速い河川で多いんです。しかも、規模の大きい洪水時ですので、これはある種、護岸の設計の考え方からいうと、超過洪水と言える場合もあるのではないかと考えておいて、そういうものなので、なおかつ、これは派手な災害になりがちだと、派手なという言い方も変ですね。より要注意の災害だということなので、これはよくよく注意して点検してほしいと思います。あと、平面形的にいうと、乗り上げ部だとか、落ち込み部なんかで発生しやすいというふうに思います。

それから、あと、材料劣化とか吸い出しとかというのは（5つ目の・）、むしろ、老朽化という面からいうとこちらのほうに目が行くと思うんですけれども、こちらに関しては、事例を見ると、まだ鉄線が切れただけであるとか、あるいは目地がなくなっただけというものが多くて、本当は非常に流速が速い河川ですと、それがもとで耐力が落ちて流れるということが起きるんだと思うんですけれども、そういうのは事例としてはなかなか確認できなかったものでございました。ただ、一番上のところでも申し上げましたが、高水敷幅が非常に狭いと、こういうところは待たなしのところですから、こういうとこ

ろでは侮ってはいけないというふうに思います。

それから、あと、吸い出し被災です（6つ目の・）。こちらについては、既存の洗掘とか、河床低下による吸い出しとは別のもものもございます。雨水の排出が集まったりとか、そういうものもありますので、こういうものは予防保全・要監視段階というものでも良いんじゃないかなというふうに私は思うということです。

〔スライド16〕に行きまして、次の＜大規模洪水護岸被災＞というのは、私の講義では1. 3（第2回河川研究セミナーにおける諏訪氏の講演資料の21～28枚目のスライド）というところになります。ここについては、上でも言ったことと重なるんですけども、法肩から、天端からの被災ですね（1つ目の・）。こういうものが非常に多くなります。しかも、特に急流河川なので、必ずしも築堤とは限らないんですけれども、そういう場所では、特に私が紹介した事例の中では重要な橋のところの取付護岸が壊れるなんていうのがございましたけれども、そういうものも、設計の立場から言うと、もう超過現象なんですけれども、とは言え、被害が起きたときにはものすごく、もしも重要なアクセス路であれば、そこが絶たれるということなので、大事なものであります。ですから、ここは技術者の良心として工夫するという必要があるんじゃないかなというふうに思ったということです。ちょっと点検とは離れるかもしれませんが。

それから、あと、2つ目の・は、これは今度、改修をどんどん進めているという川において、改修している区間と、それから未改修区間の境界の部分で、非常に水面形が急になるという場合があります。そこでは被災の応答というのははっきり出まして、水面勾配が急だと、イコール流速が大きいという区間だと言いかえて良いんですけれども、そういうところで非常に被災が多く発生したということがありますので、改修を進めたときには、境界部が要注意だと。設計で十分留意できれば良いんですけれども、点検においても要注意じゃないかなとい

うふうに思ったということでもあります。

次の、〈橋台取付護岸〉というのは、私の講義で言うところの5. 1（第2回河川研究セミナーにおける諏訪氏の講演資料の115～120枚目のスライド）というところになります。ここでは橋台が被災すると、傾いて橋が使えなくなると。機能という面から見ると、橋が通れるということが機能ですので、そいつが失われるということなので、これは大きな差があるということですね。なので、これはなるべく防げたほうが良いところでもあります。

ところが、侵食して行って、橋台が出てきて、被災するというメカニズムでいうと、まず、私が紹介したものでいうと、取付護岸が壊れて、その後、橋台が流れにさらされるということが起きます（1つ目の・）。そうすると、流れが橋台にぶつかってもぐり込むということが起きると、水衝部のように流れの中に出っ張っていますので、単位幅流量が大きくなると言って良いと思います。そういうことが起きますので、ダブルパンチで洗掘量はぐっとふえて、傾くという、こういうことだったと思います。点検のポイントでいうと、取付護岸がしっかり機能してくれと、こういうことなんですけれども、これについては、前回会場で質問をいただいて、私、帰って、グーグルアースでよく見たんですけども、ちゃんと上流にも護岸はずっとあったんです。ところが、その護岸の高さを上回る洪水だったので、恐らく天端から破壊したんじゃないかなと、私は思っています。なので、護岸の天端高を計画高水位よりも上げないとこれはなかなか防ぐのは難しいなというふうに思っています。

それから、次の2つ目の・ですが、湾曲による水衝部については、大規模洪水と中小洪水で異なる—これは先ほどもいいましたね—です。これでつけ加えたいのは、湾曲による洗掘深というのは、大まかですけれども、曲率半径と流路幅というものの比率である程度予想できますので、推測できますので、これもこういうものを推測した上で点検するというのが良いのかなというふうに思います。

それから、もう1つ（3つ目の・）、教訓的なものとか優先順位が高いというんですか、そういうよりケアする優先順位が高いというものとしまして、道路兼用護岸なんかですと、それが破壊しますと、通行していた方が落ちるとか、そういうことが起きますので、これは非常に要注意であるということです。なので、逆に河川管理者だけじゃできませんから、交通規制との連携とか、そういうことが重要ではないかというふうに思います。

それから、次の話は〈護岸基礎洗掘・施工端侵食〉、こういうものは私の講義ですと1. 5（第2回河川研究セミナーにおける諏訪氏の講演資料の39～41枚目のスライド）というところになります（1つ目の・）。ここでは点検のポイントという言い方なので、護岸の工法によって応答が違います。私の昔、今でも言っているか分かりませんが、練積みみたいながっちりした護岸は、先ほど言った裏に空洞が発生するということが起きやすいんですけども、逆にほとんど胴込コンクリートを入れていないようなばらばらになりやすい護岸ですと、すぐに応答があらわれますので、逆にこれは変状が発見しやすいというメリットかもしれないことがあります。

それから、あと、施工端からの破壊については（2つ目の・）、特に基礎からの破壊との合成とか、流体力破壊との複合とか、あるいは三者複合とか、そういうものがだんだん重なるごとに要注意の度合いが上がるというふうには、いろいろ簡単な実験をした範囲では、私はすごく感じましたので、破壊メカニズムが複数重なると、そういうところは非常に注意したほうが良いということでもあります。

〔スライド17〕に進みます。こちらが藤田ファシリテーターからあった話に一番マッチするんじゃないかと思うんですけども、〈基礎吸い出し破壊〉。こちらについては、私の講義では1. 4（第2回河川研究セミナーにおける諏訪氏の講演資料の29～38枚目のスライド）というものになりますので、後から見ていただきたいと思いますが、ここでは、私、

実験の中で変化の速度というものが大きいものほど重要な現象ではないかという立場で評価しますと、基礎の浮き上がりというのは分かりにくいと指摘を受けたんですけれども、今回、露出高と言ってみましたが、露出高が大きいほど圧倒的に破壊する速度は早いですから、前半のほうで護岸の根入れと河床高を比較してつくれと言いましたけれども、その差分が大きいものほど特に注意してくれということをお願いということでもあります。

それから、あと、先ほど胴込めがいっぱい入っているみたいな護岸は応答があらわれにくいということをお願いしましたが、そういう場所では陥没というものは隠れているんですかね、危険を見つけにくいということがございます。さらに注意しておくべきこととして基礎の露出高が小さくても、空洞というものは起きます－非常に流れが早い河川です。なので、こういうところでは差がわずかなんだからとかと油断せずに要注意だということをお願いしたいということでもあります。

それから、あと、これは偶然発見とは言わないかな、偶然気づいたことですが、後ろの空洞が、雨が降った後に、私どもは発見できたんです。実験を終わった後は何ともないじゃないかと思ったら、10日ぐらい後に雨が降って、それで陥没が表面化して分かったということでもあります（先のスライド38枚目）。これは裏返すと、雨が降った後とか、あるいは降雨で冠水したというのは、陥没が表面化するの、こういう空洞を見つけるチャンスですよということでもあるということでもあります。

それから、最後、＜根固め工＞。こちらについては、まず1つ目の・で、これはセグメント1と2-1で急流河川ですと、ふだんの水位は低いですから、陸上目視点検が、ちょっと川の中を歩く苦労がありますけれども、非常に容易であるというふうに思います。逆にセグメント2-2、3というふだんから水位が高い河川は、水中を点検しなきゃならんということが出てくるので、これは両者は大きく違うぞということをお願いしたいということです。

それから、根固め工の応答としては、ブロック等の沈下とか変形する範囲、そういうものを見ることが大切であるということです（2つ目の・）。護岸前面にちゃんと平坦部が確保されているかと、こういうことが閾値の一つになるんじゃないかということですね。それから、逆に、幅の決め方は議論していただいたら良いと思いますけれども、1列ぐらいはちゃんとあるか、あるいは2列以上あるとするかと、こういうことで決めることができる可能性があると思います。

それから、あと（3つ目の・）、いろいろ実験している範囲ですと、河床材料が動きやすい場所、そういうところだと、ブロックで下の河床材料（砂）が動く・抜けだすことをとめることが十分にできない可能性があります。そういうところは、今度は敷設厚の不足（ブロック下の流速が十分低減できていない）が原因で起きます。これについては、平坦部の高さ（標高）が維持されているかどうか、こういうことを点検で見てもらえると良いと思います。川の中心側から沈下・変形していなくても、平坦部の標高が下がっているということであれば、それは敷設厚不足（ブロック下の流速低減効果が不足している）の可能性が高いので、そこで手当て（敷設厚の増加、河床材料の一部を粒径の大きいものに置換等）してもらったら良いというふうに思います。

それから、次に（4つ目の・）、幅不足になった場合には、洗掘深の、これは設計に基づく、あるいは復旧したりされると思うので、そのときに洗掘深の不足だったのか、あるいは変形後のブロックの間隔が見込みよりも小さいので、間隔の見込みが甘かったのかということをよくチェックしてもらって良いんじゃないかというふうに思いました。

それから、最後から2つ目の・のところですが、私が実験したのは、いつも重量が十分にあるという場合ばかり実験したものですから、エアポケットになってはいけないと思って注意喚起しておきたいのは、非常に急流の河川ですと、ブロックの

重量不足ということもあり得ますので、ここではブロックが流失したかどうかということをもって評価し見てもらおうと良いんじゃないかというふうに思います。

連結の話（最後の・）は、ちょっと置いておきます。

それから、この点は今までのスライドに入れなかったんですけども、忘れたなと思っているのが、表面侵食の話です。これを全然書かなかったんですけども、これについては4. 5（第2回河川研究セミナーにおける諏訪氏の講演資料の99～106枚目のスライド）で越水の話のところいっぱい書いてあるので、そこを見てもらおうと参考になるかと思っています。

以上です。



藤田（ファシリテーター） ありがとうございます。

今の諏訪さんの要点提示は、施設のどこを・どう見なければいけないのか、そして、何でそうなのかということと一緒にご説明いただいたこととなります。その中では相当程度、「どうなっていたら危ないのだ」という情報がセットになっていました。私をはじめに（本第3回セミナー記録の2. のところで）お話しした閾値の算出そのものにまでは行きませんが、所定の洪水が来た時に危なくなるかどうかを判断するためにここを見るんだという内容になっていて、閾値の具体的な出し方を検討するのに役立つものをご提示いただいたと、ですから先ほ

どお示したA3の紙（「河川の実力把握手順検討台帳（イメージ）」）の欄を埋めるのにとっても役立つ内容になっていると思いました。

6. ディスカッション・パートーその1

藤田（ファシリテーター） ここで1回、福島さんと諏訪さんのお話をターゲットに、会場からの質疑を求めたいと思います。いかがでしょうか？単純な質問でも疑問でも結構ですので、遠慮なくいただければと思います。こういう機会はそうはないと思いますので、ぜひ、遠慮されずにどうぞ。

実は今回のセミナーの前に、参加を申し込んでいただいた皆さん全員にメールで、質問やお考えなどを出していただくようお願いしています。それで、結構な数の事前質問などをいただいています。それが手元にあります。では、その中から1つ選んでディスカッションの皮切りにしたいと思います。

▶ 「河床は洪水に変動するはず。平常時の把握だけでは限界があるのではないか？点検において洪水時の河床変動をどう見ていったら良いのか？」についての議論

藤田（ファシリテーター） こういう質問（上記）をいただいています。

福島さんの話にあったと思うんですけど、普段の川の姿が洪水中に大きく変わってしまうというパターンが起こることがある。それは、ある場合には流下能力上のマイナスになることがある。それから、洪水中に河床の高さが下がる、つまり洗掘が進むとすれば、構造物の安定に悪い影響が出てくることもある。先ほど、最深河床と基礎高の関係にも、普段の姿からある程度フォローできるものと、洪水中に普段の状態からさらに河床が下がってしまう特徴を持つ場合があって、後の方になると、普段の河道で最深河床と基礎高の関係を見ていただいただけでは足りないということにもなります。

このあたりについて、福島さんは、「山本図」と紹介された摩擦速度 u_* の二乗と河床材料粒径 d との関係図を、洪水中に河床材料がどう変わるかを見る簡易ツールにするというようにお話をされていました。もう少しカチツとした判断のフレームとして河床変動計算を活用する可能性も含めて、福島さんはどのような展望をお持ちでしょうか？

福島氏 ご質問、ありがとうございます。

川の技術というのは何か古いところがあって、その反動なのか、三次元でデータを取る実用技術が出てきて、河床表面の高さも三次元で詳細に測れるから、それだけ当然色々なことが分かるんだ、ということになりがちかもしれません。ですがそう単純には行きません。

今、藤田ファシリテーターが話されたことは、私の1回目の資料（第1回河川研究セミナーにおける福島氏の講演スライド）の10枚目で説明した、変状の進行を予測する上でキーとなる視点ということで「特定イベント時完結型」として説明した、洪水中に最深河床高が下がってまた上がるという特徴の河床変化に関することだと思います。こういったものの存在自体が、もうご指摘のとおり、よく把握されていない状況だと思います。

こういう洪水中の河道変化を調べる調査はやられてきてはいますけれども、まだまだ少ないと思います。私が知っている例ですと、富士川などで、平均年最大流量ぐらゐの出水中でも河床が1m下がって



1m上がり、洪水前後では河床高が全く変わってなかった、というような観測事例もあります。こういった情報を集めていくのも当然大事です。

それと、もう一つのポイントとして、そもそも川の中にどのくらい変動する河床の高さ（河床変動を起こす材料の層厚）があるのか？を知っておくのも大事と思っています。それを、私の1回目の資料（第1回河川研究セミナーにおける福島氏の講演スライド）の26枚目で説明しました。これは鬼怒川の縦断図ですけども、表面の砂れきがある層の下に固い土丹層というのがあって、河床低下はこれが出たところで止まることにもなります。また逆に、その土丹層が局所的に変な掘れ方をして、ある場所に速い水流を生じさせてそこを攻撃するなんていう侵食現象を引き起こすこともあります。

なぜ最初に三次元の話から始めたかということ、河床の表面を見れば川のことは何でも分かる何となく思われがちなんですけど、川底の動きというのは表面の形だけではやはり分からなくて、河床表面の下の方も含めて可視化していくことが大事なかなと思っています。まだまだ先の話なのかもしれないですが、展望ということでは、川の中（河床表面下）まで含めた三次元データを、私たちは将来的には持っておきたい。これはボーリング調査で補完するでも良いですし、非破壊検査でそれをさらに補完してでも良いのです。川の中まで含めて私たちが川を知っているということが、先ほどの河川の実力というか河道の実力でしょうか、それを測る上で非常に重要な情報になるのかなと考えます。

将来的には全部川を守らなくても良い時代になるかもしれません。人口減少などもあって、「ここだけはしっかり」というのがあるかもしれませんが、そういうところだけは、そういう十分な情報を知っておくなんていう世界が、かなり将来的な展望かもしれないですけれども、あると良いなと思って、そんな話をさせていただきました。

局所洗掘の話は、おっしゃるとおり、1回1回、個々にどのような河床変化が起こるかがまだまだ分

からないので、そのあたりは今後しっかり調べていく必要があると思っています。

藤田（ファシリテーター） 事前にいただいた質問の中から、関連したものをもう1つ。今、お話が出た「軟岩などの侵食しにくいものが河床に出たときの侵食特性とか、土砂の供給の特性みたいなものがどれくらい分かっているか？」というご質問をいただいています。この質問に、今の鬼怒川の事例のこともイメージして、福島さんからお答えいただければと思います。

福島氏 軟岩には（普通の河床材料と違って）固さ（固結性）があるので、固いところは護岸の基礎として使えるなどと思って、天竜川でその検討をしたことがあります。針貫入試験というのを軟岩のところに使って、固いところは護岸の基礎として使いましたし、軟岩でも柔らかいところは、むしろ逆に掘ってしまって、普通の河床材料で埋め戻して、通常の河床として処理したというような、そんな事例もあります。このように、1つは、針貫入試験で軟岩の特性を把握して、実際の固さに応じてやり方を選ぶということがあります。あと、寒地土研さんでやられていましたけれども、そういった軟岩の侵食特性を直接調べて、河床変動計算にその特性を組み込むやり方を適用した事例もあります。これは河川技術シンポジウムとかで発表されていきましたので、参考にしていただけると良いかなと思います。

藤田（ファシリテーター） 福島さんと諏訪さんお二人の話は、「構造物の破壊とか災害発生の危険性から逆算して、見るべきものを見ろ」というところでもかなり共通していますよね。ですから、（技術が進んで）測れるものが増えてきたということと、見るべきものが見られるようになることとは、必ずしもつながらないということも、共通して示唆いただいたように思います。

現場で実際に維持管理の仕事に当たられている皆

さんとしたら、じゃあ破壊の可能性をきっちり読み解こうと思ったときに、現場で、かなり高いレベルで見なければいけないものが増え、点検評価の労力が増す部分が出てくるのではないかと？そういう話として受け止められたということもあるのではないかと思います。ただいまの技術サイドの、研究所からのお話を、では現場でどういうふうに消化するのか？できるのか？ということが、次の議論に当然なってくると私も感じます。会場の皆さんで、その辺で何かお感じになっていることなどありますか？

▶ 「堤防中心にした徒歩点検で普段の河川を定期的に見るというやり方だけで良いか？限界があるのでは？現場を見る前に、当該河道についての情報を整理・分析しておくことも大事なのではないか？だとしたら、そのポイントは？」についての議論

質問者1 「現場」という言葉が出た時に、「ギャップがあるんだ」ということを言わなければならないと思いました。今、現場で点検をしろと言われていますが、それは徒歩点検で見なさいとなっている。大河川にしても中小河川にしても堤防の上から見て、点検評価要領には河道も見ろとも書いてあるんだけど、何をどう見ろとは書いていない。ここに大きなギャップがある。

ちょっと話が長くなりますけど、つまり、たとえば、でかい洪水が来た時に、側方侵食がどこまで堤



防まで迫ってくるか？（堤防を防護している）護岸との関係で言えば、どれだけ局所的に河床が低下して護岸が危なくなるのか？ということは、ふだんの点検で普通に見るだけではなかなか分からないのではないか、そこが怖いと思っているところがあって、そうだとすると、点検評価の枠組み全体を変えていかなきゃいけないのではないか。そう考えざるを得ない。ちょっと問題発言かもしれないけれども。

福島さんのお話しでご紹介があった「河道管理基本シート」から、その川全体の中から、例えば「側方侵食だったら、こういうところが定性的に危ないんじゃないか」、「河床低下による危なさだったら、経年変化から見て、ここがこういうふうに危ないんじゃないか」という、ある程度絞り込むためのディスカッションをやった上で初めて現場に行く。そういうアプローチにしていかなければいけないと思っているんですけど。

これを今言うと、ほとんどこうすべきという結論を出すようなことになってしまって、議論にならないかもしれないんですけども、その辺のところをやはり今考えなければならぬのではないかと。

「現場で」（どうできるか）という切り口になると、今申し上げたようなことを言いたくなります。今の現場の点検評価は、河道をただひと言「見ろ」と言われているので。そのあたり、国総研の方々だったら、どういう形で見に行ったら良いのか？あるいは、どういう形で（現場点検に入る前に）ディスカッションをしておけば良いのか？そうしたことについて、今やられていることから、「こういうデータとこういうデータからこのようにひも解いていけば良い」と言ってもらい、点検をそういう方向に変えていく。そういうことを期待したいし、そうしなければいけないんじゃないかなと思ったんです。ご意見があれば伺いたいと思います。

諏訪氏 [スライド15]の最初のところにも書きましたが、砂州ができて起こる河岸侵食が洪水中に堤防のところまで進んで堤防を破壊することが問題

になるのはセグメント1が中心です。ですから、乱暴に言うと、セグメント2-2とか3の河道でこの問題を一生懸命検討してもしようがないんじゃないかなと思います。そんなことにエネルギーを使ってしようがないだろうと思います。あとセグメント2-1のところも問題になるかもしれませんが、その他のセグメントは基本的に問題にならないと思います。

これは、この場で裏付けデータを提示はできませんけれど、山本晃一さんの本（たとえば、沖積河川－構造と動態－）に書いてあったと思うけれど、たしか、セグメント1で河岸侵食が一洪水中に堤防に向かって進む距離は、砂州幅の半分ぐらいにもなるとか、そういう目安があったんじゃないかと思うので、昔の空中写真を見てもらうとかして、洪水の時にできる砂州の幅がどれぐらいか？などを調べてもらうのは、事前に検討するひとつの手ではないかと私は思います。

セグメント2-2、3は、研究所で私たちが整理してきたことが正しいと自画自賛するみたいになるかもしれませんが、1つの洪水中に河岸侵食が進む距離の目安として出した（高水敷）「河岸高の3倍から5倍程度」が相当妥当んじゃないかと思っ

ていまして、それを判断に使えば良くて、この点については新たな研究課題はないだろうというぐらいに、乱暴に言うと、そういうふうに思っています。

藤田（ファシリテーター） 今の諏訪さんのお話は、要は必ずしも現場を歩かなくても既存の知識の積み上げで分かることも相当あるし、本当に現場を見なきゃいけないことは逆に絞り込める。だから、破壊の可能性をきっちり読み解こうとしても、うまく工夫すれば、必ずしも全体の労力がいたずらに上がることにはならないですよ、というように受け取って良いのでしょうか？

諏訪氏 「現場に行く前にやれることがあるんじゃないの」と思います。整理が面倒だという面もある

と思いますが、今はもう空中写真とかも手軽に見ることができるので、相当やれる気がします。やる気のある一般の方がやれるかもしれないというぐらいに思います。

藤田（ファシリテーター） 福島さんはいかがですか。

福島氏 諏訪さんの言われる通りかな、というところもあります。空中写真で色々分かるなど。ただ、空中写真で分からないこともあって、たとえば局所洗掘に関係する情報は少し難しいのかなと思います。諏訪さんが見れば、分かるのかもしれないですけど…

起こる侵食に対して高水敷の幅が足りていないか？とか、その場所が水衝部になっているか？などは空中写真から分かると思うんですけども、やはり、護岸の根の高さがその河床の高さと比べてどうか？というような局所的なことは、「河道管理基本シート」みたいな形で、他のデータを整理して絞り込んでいくのが大事になるかな、と思っています。あと、流下能力という面も、なかなか航空写真だけで判断するのは難しいと。

最近、ドローンで巡視をやるなんて話も出ているので、河道の状態を上空からの写真などで毎日捉えるようなことになるかもしれないですよ。そうすると、航空写真と「河道管理基本シート」を両方あわせて見てやって、ターゲットを絞りながら点検していくのが良いのではないかと思います。せっかく作ってきている「河道管理基本シート」なので。

セグメント1や2-1といえども、川の中を全部点検するのは大変なので、ちょっと絞り込むのも大事なかなと思っていますところ。

諏訪氏 （砂州によって河岸の側方侵食が大きく進んで堤防破壊に至るという観点からの点検評価については、）セグメント2-2とか3とかで一生懸命やったって、どこに力を使っているのだろうか

（もっと他に力を使うべきところがあるのに）などと私はちょっと思います。

※セミナー記録編集者による注記

諏訪、福島の両氏とも、平常時に河川の現場を見るだけでなく、今までに得られた知見に基づいて、その河道に関する情報（写真や地形測量データなど）を予め整理・分析しておくことが、堤防破壊の可能性を評価する上で必要かつ有用であり、そのことで、現場で見る内容を絞り込むなど現場点検にメリハリをつけられる、と共通して述べている。

質問者2 平成28年に十勝川で大きな出水があって、そのときは河床変動とかがあって札内川と音更川で破堤が起こったんですけども、十勝川本川でも、破堤までは行かなかったけれどだいぶ侵食された場所があって、侵食河岸線が堤防まで近づいたんです。それがその後、平成29年、平成30年と時間とともに少しずつ堤防にもっと近づいて行っているんです。現地で、ある時に見るだけだったら、近づいているのは分からないんですけども、UAVなどを使って事務所とかでは監視をしていて、徐々に堤防に近づいてきている様子が把握できているので、維持工事などで対処ができる。やっぱり、ある時に（堤防から）現場を見るだけじゃなくて、上空から河道の全体状況の写真を時々撮るなどして、変化を把握できるようにして危険箇所を監視するというのも必要なと思います。

諏訪氏 まったくそのとおりですね。

先ほどの〔スライド15〕で私が紹介したのは音更川とか札内川での側方侵食（いずれもセグメント1）でしたが、同じようなことが十勝川でもあるんですね。十勝川はセグメント1ではないですよ。

質問者2 洪水の時は（堤防まで行かなくて）よかったですけど、平成29年、平成30年と融雪期になって流量が増えてくると、だいぶ河岸侵食が進ん

で。

諏訪氏 じゃあ、そういうところ（大きな洪水中に進む河岸侵食だけでなく、洪水後の侵食の進行を考慮する方法）は充実させる必要があるのかもしれないですね。（大事な情報）ありがとうございます。

（起きたことなどから学んだ結果、今までの知識の中で直すことが必要となったら直していくということも重要で、そうした観点からは、たとえば）札内川と音更川もぜひ調べてもらって、洪水中に進む侵食の幅の目安としてセグメント1なら砂州幅の半分だとか、セグメント2-2と3なら高水敷河岸高の何倍であるかとかが、今の護岸の力学設計法（（財）国土開発技術研究センター（当時）編）にあります。そのような内容についても直した方が良いのか？を、この機会にさらに見てもらえるとうれいですし、逆に、そう願いたいとも思いません。質問いただいた方が所属する寒地土木研究所の技術力を活かされて。

藤田（ファシリテーター） 今までの議論のポイントを絞って言うと、・現場で見べきものを明確すること、さらに、・見るだけではなくて、現場のことを知るための他の色々な方法（それまでに得られた情報の整理・分析など）をきちんと組み合わせること、そして、・これらを行う際に基本になるのが、対象としている河川の施設が機能を失うメカニズムを理解できていること、というようになってくると思います。

そうすると、同じ点検評価であっても、ある種の標準的な方法に加えて、川ごと、そして区間ごとに、ここはこういう点に特に注意してかからなければいけないというように、対象とするところの特徴を見ながら、調査の重点の置きどころを考え、やり方も適材適所にしていかなければいけない、ということになります。先ほど諏訪さんがさんざんおっしゃったけれど、セグメント1ではこう言う点が問題になるけれど、同じ問題はセグメント2や3では

ほとんど問題にならない、というような話はその典型です。

つまり、河川一般について標準的なやり方や共通的内容がどこかに書いてあって、それにしたがって点検評価をすれば良いということでは済まない世界だということになって、河川ごと、区間ごとに特徴にあったやり方を考えなければならないということになる。現場で、普通の実務の維持管理の中で、このようなことまでやって評価につなげていくというのは、結構ハードルが高い話になるのではないかと。そういう心配が出てくる。

こういうことに対して、技術を伸ばしていくことで、現場でやれるようにしていくという方向は当然ありますが、それも含めて、点検評価を支える現場と一緒に考えていくことになるんだろう、というふうに思いました。

▶ **河川維持管理などについて河川の専門家の側から「こういうことができる新しい技術を欲しい」という具体のニーズをどう出せるか？についての議論**

藤田（ファシリテーター） もう1つ、これは今のことに少し関連がありそうなので、パネラーの皆さんに投げかけたいお願いがあります。

色々な新しい技術が実用化されている。ALB（Airborne Laser Bathymetry）だとかMMS（Mobile Mapping System）とか。いままでのやり取りの中でも既に、ドローンを使って写真を機動的に撮るといった話題が出ました。それで、投げかけたお願いは、河川の専門家の側から「こういうことが分かる技術が欲しい」ということを言ってほしいということです。

技術を提供するサイドから、こういうことができます、ということがどんどん出てきている。3D地形データが簡単に取れますなどと。じゃあ逆に、今日登壇されているような方々から、本当はこういうことが分かれば良いんだ、むしろこんな技術を早く開

発してほしい、ということが出てくると良いのではないか。そうすると、開発するサイドもそれに対するリアクションが良い形でできるようになる。

そのようなことを考えたとき、いかがでしょうか、河川の専門家という皆さんのサイドから言うべきことはありませんか？それとも、今世に出ているもので十分なのでしょうか？

諏訪氏 ちょっとずれているかもしれないですけど、3D地形データとかはすごいことだと思うんですよ。福島は先ほど、最深河床とか何とかって古臭いことを言っていましたけれども。だって護岸の前面の河床だから大事なんだから、その大事なところが三次元地形測量だったら分かる。そのデータから護岸前面の河床高の縦断図が書けるようになる。そういうものを作って売り込みに行ったら良いんじゃないですかね。逆に河川管理者は、そういう情報を利用すべきだと思いますね。3D地形データを取ったのなら。もちろん、護岸の基礎高の記録を取っておいて、それと比較しながら河床高をよく見てもらわないといけないけれど。

福島氏 確かに護岸前面の河床高が分かれば良いんですけど、（護岸の洗堀に対する安全性が懸念される）深掘れしているところは意外にALBの適用外になる場合が多いです。ALBで河床高が取れるところは通常、澄んでいても水深2.5m辺りまでとかになって。本当に澄んでいけば5mとか行きますけれど。

諏訪氏 それでもだいぶ絞り込めるわけでしょう。それ使ったら良いじゃないですか。書けるところだけでも縦断図を書いたら、あと分からないところを絞り込めますよね。

福島氏 それであれば使えます。

藤田（ファシリテーター） （期待していた）パネ

ラー同士のディスカッションになってきましたが、ここで一旦次の話題、堤防本体の浸透に対する安全性の話に行きたいと思います。佐々木さんから、まとまったお話をいただきます。そして、今までの議論も聞いていただいているので、それも参考にされて、今日のセミナーの主題「河川の実力を読む」という観点から佐々木さんなりのポイントを加えていただけると大変良いかなと思います。よろしくお願いします。

7. 佐々木哲也氏による ショートレクチャー

▶ 河川堤防の浸透安全性の確保に向けて

- ✓ 堤防の被災は局所的な弱部を突いて発生
- ✓ 事前調査を、それ（局所的な弱部）を把握できるものにしていくことが重要—そのために、いくつかの手法を組み合わせることも有用
- ✓ それでも事前調査には限界あり→出水経験を点検評価の精度向上、そして堤防強化に活かすことが重要
- ✓ 現行の詳細点検では、「破堤につながるような変状が起きるかどうか？」が評価できているか？—本セミナーの主題に絡めて

佐々木氏 よろしく申し上げます。土木研究所の佐々木でございます。

（〔スライド18〕を示しながら）私からは、堤防に関して、「浸透の安全確保に向けて」というタイト



ルでお話しをさせていただきます。今の浸透に対する、いわゆる詳細点検の枠組みの中で、なかなか照査結果と実際の被害が合わない部分がある。詳細点検の結果、現在6割ぐらいでアウトという評価結果になっている。近年の出水でも、アウトのところは必ずしも被害を受けているわけではないし、セーフと評価されたところで何らかの被害を受けてしまっているところもあって、評価の信頼性が上がっていないという状況がある。ではどうやったら改善していけるか？弱点箇所をどう見つけるか？という話にかなりフォーカスして、今日の資料を作りました。

先ほどの藤田ファシリテーターの話で、堤防の実力という、今日のセミナーの主題が示されました。その観点で言うと、「詳細点検でアウト」といっても、何がアウトなののかははっきりしていないところもあって、最悪の事態は破堤ですが「本当に破堤につながるような変状が起きるかどうか？」という評価ができていけるのだろうか？といった課題があります。今日の資料は、そういう観点からは作っていませんでしたので、用意した資料を説明した後に、そのような観点からのお話はしたいと思います。資料のほうは、弱点箇所をいかに改善していくか？という話になっています。

〔スライド19〕の内容はご承知かと思います。いわゆる浸透に対する詳細点検でどういうことをやっているかを簡単に示したものになります。堤防は、長い延長を有していますが、その中で、評価としてはあくまでも断面の評価でしかできていないということです。まずは、いわゆる一連の区間、例えば基礎地盤の土質とか微地形とか堤防の形とかを考慮して、見た目の形である程度、ここは同じような性能だろうという区間を分けた上で、その中で一番弱そうなところを代表断面として、その断面で浸透流解析や円弧すべりの安定計算をやって、最終的には延長全体の評価をしている。かなり長い区間の中から1つの代表的な断面を切り出して、そこでの解析や計算の結果から全体を評価するというやり方をしている。堤内地盤が低いとか、堤防幅が狭いとか、砂

層があるとか、そういうところが弱点で、そのような厳しい条件のところでは評価断面を切ってくださいと手引きでは書かれています。けれども、後でお話ししますが、実態はそこの設定ができていない部分もあるということです。

実際の照査はどうしているかということで（〔スライド20〕を示しながら）、堤防断面の浸透流解析をやって、堤防が浸透によってすべるか？ですとか、川裏側でパイピングが起きるか？とかを判定します。この図でパイピング破壊についての判定は、被覆土層が有る・無しで分けてやっています。無い場合は、いわゆる局所動水勾配でアウト・セーフを判定して、こちらの被覆土層が有るような場合は、ここが盤膨れで浮き上がるかどうか？という照査をしています。

先ほど藤田ファシリテーターから言われた「堤防の機能とどう関係があるのか？」というところと、これらの判定とは、実は必ずしも関係があるわけではない。現象としてすべりが起きるか？ですとか、現象としてここは上向きの浸透流によって土粒子が動くかどうか？という判定ですし、ここは被覆土層が浮き上がる可能性があるかどうか？の限界値で照査しているので、これが進行することによって堤防が本当に破堤するかどうかというのは、また別の話ということです。ですので、ここは今の技術ではかなり安全側に判定していて、破堤につながるような現象のきっかけが起きるかどうか？ということの評価をしていて、そうしたきっかけが起こったからと言って必ずしも破堤につながるとは限らないということです。研究レベルでは、これが本当に破堤につながるのかを評価する手法について検討を行っています。これは最後にお話をしたいと思います。

〔スライド21〕は近年の事例で、越水によらない破堤の事例です。これは矢部川です。この事例では破堤にまで至ってしまった事例です。破堤区間はここですけれども、破堤後に地整さんに細かく地盤調査をやっていただいています。パイピングによって破堤につながったと言われていて、ここにAs層と

ありますけれども、基礎地盤に砂層をかんでいて、ここからパイピングによって噴砂が生じて、それが徐々に進行して行って堤防が落ちこちて破堤したと推定しています。その砂層が分布しているところが非常に局所的で、全体的には粘性土地盤なんですけれども、局所的に砂層が介在していました。この詳細点検の結果からすると、ここ（破堤箇所）は代表断面として切り出されておらず、ここ（破堤箇所を含む一連区間）はセーフという判定だったので、ですから、適切に評価するためには、事前にこの砂層を見つけていないといけません、これは難しいことです。

もう1つの事例（〔スライド22〕）は子吉川の事例です。写真が、復旧の後で分かりづらいたくすけれども、基礎地盤を含むような大きな円弧状のすべりが起きています。破堤には至っていないんですけれども、天端、法肩を含むような大きな円弧ですべった事例です。すべりで盛り上がっている周りに噴砂等も見られました。

これ（〔スライド23〕）は、被災後に開削してみると、下に透水層が、上に粘性土の被覆土層があり、恐らく透水層に圧力がたまって、この辺から噴砂が生じるとともに、透水層と不透水層の間にたまった水圧によってせん断強度が低下して、透水層と不透水層の間で滑ったというようみえます。ここも被災後に細かくサウンディング試験により土質性状や土質定数を探査する調査を実施していくと、被災区間だけ被覆土層が薄い、この薄いところだけで滑っているということで、本当に局所的な弱部を突いてこのような被害が起きています。ここも事前の詳細点検で評価できていたかという、できておらず、このような非常に局所的な部位が弱点となって被害が起きています。

次の事例、これ（〔スライド24〕）は、宮城県の洪井川、県管理の河川で、ここも破堤している事例です。これは前後区間で堤防の中から噴砂が生じて、陥没したり、噴砂がたまっているような跡があって、被災後に開削をしてみると、基礎地盤は完

全に粘性土地盤、そこに川砂で堤防が盛られていて、盛土自体はすごい緩い状態でした。話を聞いたところ、戦後に人力で盛ったような堤防だったということなんですけれども、被災の状況からすると、水位が上がって、堤体の中を浸透して、いわゆる堤防自体でパイピングが生じたことで破堤に至ったものと推測をされている事例です。

この区間で詳細点検がやられていたかどうかは不明ですけれども、ただ、この事例も、事後解析してみると（〔スライド25〕で説明）、例えば堤体内の透水係数に室内透水試験結果を使って計算すると、これは雨と水位を与えているんですけども、これ（上の方のケース）は雨で（堤体内の浸潤面の）水位が上がっていて、河川水は堤内側（裏法）にまで行かない計算結果になる。透水係数が低過ぎて計算上、河川水が裏のりまで浸透しないということ、そこで、水平方向の透水係数を10倍にすると、被災が説明できる計算結果になる。このように、事前の評価と実際に起こった現象が合わないことが出てきて、特に透水係数が、締め方の程度とか、材料のばらつき等で、ワンオーダー、ツーオーダー変化する場合もあって、事前調査できちんとした評価をするというのは難しいという印象です。これ（下の方のケース）は事後に行ったもので、実際と同じようにアウトの判定結果となるように透水係数等を設定して、それを踏まえて対策の設計はしていますけれども、事前にこのように適切に評価するのは難しいところがあります。

もう1つの事例が愛媛県の重信川ということで、2年ぐらい前ですか噴砂等の被害がありました。〔スライド26〕被害としては堤防の法尻付近から漏水と噴砂があり、堤防の法尻が陥没した事例です。ここも詳細点検が行われていて、200mぐらい下流側で代表断面が切られてましたが、その結果、実際の被害はパイピングで起きていますが、詳細点検上はすべりでアウトという結果でした。代表断面を、法勾配がきつい箇所にとってみたいですけども、実際には、法勾配は緩い

が比高が高い、すなわち平均動水勾配が高い箇所
で、それによってパイピングが起きています。代
表断面をどう取るか？によっても、実際に起こる
ことと事前での判定が合わないことに関係しま
す。同じアウトに判定されていてもメカニズムが
違ったというような事例です。

もう1つが（〔スライド27〕）、青森県の県管理
河川、ニッ森川というところで、これも破堤に至っ
ています。幸い浸水面積は非常に小さかったです。
そして、合流点近くで水位が非常に高い状態が継続
していたということがあります。破堤箇所の前後区
間だと小段があり、破堤箇所は局所的に堤防幅が狭
く、比高が高くなっており、こういう局所的なとこ
ろで破堤が起きています。

実際に断面を開削してみると（〔スライド28〕）、
下に非常に透水性の高い砂れき層があって、その上
に砂層がある。縦断方向にサウンディングをする
と、砂れき層と思われる固くなり始める面が破堤区
間で浅くなっていて、透水性の高い層が浅い位置に
分布していることが分かります。このように、局所的
に比高が高かったり、堤防幅が狭かったり、さらには
中の土質も透水性の高れき層が浅い、このよう
な局所的な弱部で決壊に至っている。このように浸
透による被害は、局所的な弱部を突いてくるという
ことが分かるかと思います。

このように、被災事例からの教訓としては（〔ス
ライド29〕）、本当に局所的な弱部で起きていると
いうことです。例えば、比高が大きいとか、堤防が
やせた箇所ですとか、あとは長い水位が継続する箇
所、先ほど幾つかの事例で背水の影響を受けて、洪
水継続時間が長いようなところで起きていたり、地
盤の中の状況としては、局所的な透水層が存在した
り、被覆土層が薄い箇所とか、あと堤体の締固めが
低いような、こういう箇所で起きています。

これを事前にどうやったら見つけられるかとい
うと、なかなか難しく、実際、詳細点検だと数百メ
ートルに1断面とかの頻度でしか調査がされているの
で、いかに、被災しやすい形状等を踏まえて細分区

間を見直したり、代表断面を新たに設定し直す、さ
らには地盤状況を反映して、照査モデルに反映させ
るかということが重要になってきます。

例えば、比高が大きいとか、堤防が痩せているこ
とは、見た目で見えるので、こういうところは見直
すことで、ある程度改善できると思います。局所的
な地盤状況を調べるとなると、サウンディングです
とか、物理探査等を活用が考えられます。

これ（〔スライド30〕）は、以前、土木研究所と
物理探査学会とで、物理探査を使えないかと検討し
てみたものです。物理探査だけで（土質の空間分布
を）解明するのは難しいですけれども、堤防の場合
は既存ボーリングがある程度ありますので、それと
物理探査の結果を組み合わせる。例えば、物理探査
の結果と土質のチャートを個別の箇所で整理した上
で、例えば、これは4本ぐらいボーリングと物理探
査の結果との相関をとって行ったものですが、それ
使って、さらに間を補完するように土質を推定して
行く。例えば、この辺だと砂層が卓越していると
か、後から追加したボーリングの結果（土質推定
のための相関に用いていないので、検証データにな
る）と比較すると、推定結果はそんなに間違ってお
らず、ある程度の土質分布を捉えられています。必
ずしも、この調査をやれば、すべてできるというわ
けではないんですけど、既存ボーリングと組み合
わせて物理探査を活用すれば、ここの土質が周辺と
変わっているかどうかを推定できて、変わっている
箇所については調査を追加するとか、いろいろな方
法を組み合わせることで、ある程度精度
を上げられると思われれます。

ただ一方で、堤防延長が長く、地盤には不確実性
があるということで、地盤の詳細な状況把握を事前
調査だけでやるというのは難しい。今日のセミナー
の主題は、常時に判定することをどう見るか？とい
うことですが、堤防の土質も事前調査だけで詳細に
把握するというのは難しい。出水の経験とか、過去
の被害等をいかに評価に反映していくか？というこ
とをやっていないと、見つけにくい弱部を見落と

すことを防げないと考えています。出水経験を踏まえて、それをいかに調査に反映させるかが重要かと思っ
ていまして、それが〔スライド31〕です。その1つ目が、そもそも変状箇所、変状が起きた箇所、破堤に至らないまでも、そういった変状が起きた箇所というのは、何らかし
ら相対的に弱点を持っているので、調査により原因を明らかにした上で、原因に応じた強化を、その場所に実施していくということ。

それと、もう1つは、出水を踏まえて区間全体の点検の精度を上げ、堤防強化を考えていくということ
です。被害があった箇所となかった箇所で何らか違うはずなので、その違いを踏まえた上で、もう一度、細分区間を見直すとか、代表断面を見直すとか、土層の構成等のパラメータを見直すとか、被災事例を活用していくべきでは
と思います。実際のところ、出水を受けたところは“実実験”をやったようなものなので、その結果をいかに評価に反映して精度を上げていくか？ということが、重要になってく
ると思っています。

〔スライド32〕は、先ほど紹介した愛媛の重信川の事例です。2年前に出水があって、ここにいる諏訪さんと私で委員会に参加させていただきま
したけれども、出水により漏水等の被害を受けて、事務所さんでかなり細かく調査をしていただいて、その後、これまでの詳細点検の結果等を見直して、今後の対策の方針などに反映したという事例です。

〔スライド33〕は、すべりに関してですが、漏水が非常に多かったので、漏水と平均動水勾配とか、水頭差等の関係等調べて、この辺が漏水が起きやすい区間である等被害が生じやすい区間を絞って
いて、対策の優先度や、出水時の対応の優先付けに反映するような取り組みがされた事例です。このような出水を踏まえた経験を今後の堤防強化や管理などに活用していくことが重要である
と考えています。

〔スライド34〕も重信川の例です。被災経験を踏まえて、詳細点検の代表断面を切り直したり、土層

構成を見直したりして、再度、詳細点検を見直したという事例です。

〔スライド35〕に今まで話したことをまとめています。・事前で調査が足りてないというのが多いので、きちんと調査をしましょうということと、・調査をするにもサウンディングや物理探査等、なるべく
(土質性状を空間的に)細かく把握できるよう、いくつかの手法を組み合わせを使っていくのが重要だということと、・とは言うものの、すべてを事前に把握するというのは困難なので、出水経験を安全性
の評価等に反映していく。・そのために過去の被災事例等分析して、点検の精度の向上等に反映させていくことが重要、ではないかと思
います。事前調査と対策と出水経験を踏まえての評価・対策の両輪で進めていかないと延長の長い堤防の安全性の確保は難しいと考えています。

このセミナーの主題を踏まえて、「本当に破堤につながるような変状が起きるかどう
か？」という評価ができていないのか？という点について、最後に話しをしてみたいと思います。

今行っている詳細点検では、必ずしも破堤に至るかどうかをやっているわけじゃないという話を、〔スライド20〕の説明のところ
でしました。

例えば、先ほどの矢部川です(〔スライド21〕を示しながら)。これについては、パイピングから破堤につながったと考えられていますが、先ほどの重信川のように、パイピングが起
こっても、その後、陥没で止まっている事例も非常に多くて、実際、本当にどういう条件で破堤につながるか？ どういうところだった
ら止まるのか？ というのがなかなか評価できていない。

国総研でも研究を進めていたり、大学の先生方も、本省でも河川技術開発公募で重点的にテーマとして設定されたして、様々な機関でトライされているところで、今、進行中ということか
と思います。目指しているところは、ファシリテーターがおっしゃったように、アウトというのはどの程度アウトなのか？ 致命的な状況に近づくのかどうか？ とか、

そこをきっちり評価する手法を得ることです。

それとあと、円弧すべりの方について、ここもこれは子吉川の事例ですけれども（〔スライド23〕を示しながら）、これも破堤には至っていない事例です。なぜ、これで止まったのか、それを明らかにしたい。実際、今の評価手法自体ですと（〔スライド20〕を示しながら）、この絵のように大きな円弧で評価されていますが、実際の現場のアウトの事例の中にはのり面の先の小さな円弧でアウトとなる事例もあり、これらも同じアウトになっています。けれども、本当に破堤につながるような大きなすべりに進行していくのかどうかを評価できるようにするための研究を、土木研究所でも取り組んでいます。破堤に至るような大きなすべりにまで進行するかどうかを比較的簡便に把握するための評価法といを提案したいと思って、努力しているところです。そこはもう少しお時間をくださいというところで、私の発表は以上で終わります。

藤田（ファシリテーター） ありがとうございます。極めて短時間に、パイピングを含めて堤防の浸透破壊の技術的な状況を非常に分かりやすく提示いただいたと思います。

8. ディスカッション・パートーその2

藤田（ファシリテーター） 今の佐々木さんのショートレクチャーは、堤防の浸透破壊を見据えた場合でも、点検評価との関係で考えなければならぬことがたくさんあるというようなお話だったと思います。これについて、会場も含めて質疑をさせていただきたいと思います。どなたでも結構です。いかがでしょうか？

▶ 堤防の浸透破壊現象における「洪水作用の履歴性」の効果はどう考えるか？についての議論

質問者3 大変貴重なお話ありがとうございました。説明にあった〔スライド22〕の子吉川のことでお話をお聞きしたいんですけれども、私たちとしては、これは繰り返し外力を受けて被災に至っているというふうに思っている。そのため、静的破壊としてではなくて、動的破壊というのか、脆性破壊というのが良いのか、いわゆる粘って粘って粘って、そして破壊、破堤に至ったと捉えている。ですので、破堤が起きたときだけの外力で判定するというのは不足じゃないかなと思っています。しかしながら、この部分こそが河川構造物のポテンシャルというか、耐える力に幅を持っていることにつながるのかな、というふうにも注目している。この点がお聞きしたいことの1つです。

この考えにしたがうと例えば、平均年最大流量クラスの出水を3回ぐらい受けて、その後たまたま平成25年7月の大規模出水、これが来たので破堤したというようなことになるので、それまで受けた外力を積算して行って、平成25年で破堤したという計算方法を適用していかないといけないのでは、と思っています。

そのためには、外力の積算状況を定量的に見ることができるといような方法、例えば、これが良いかどうか分かりませんが、側帯とかは形状が全部分かっているんで、そこに何cmかの変化が起こったかを継続的に測っておくと、堤防の状態を見るためのフォローアップ、補完になるのではないかと。そのようにして、いわゆる経過観察というんですか、状態監視保全をやりながらデータを蓄積して行って、また被災するか、まだしないかの検討に使える「子吉川堤防の特性を反映した数値」というのを出すというやり方は面白いのでは、と思っております。

藤田（ファシリテーター） 側帯のところで何か測られているんですか？

質問者3 その後（被災後）、してはいいないです。最初に藤田さんが説明した時の資料に、何とかして定量的に（堤防破壊の可能性を）評価する方法がないか？という提起があったので、それをやるためには、今までのやり方に何かを加えて、そこから出てくる数値を分析して、堤防の危なさを定量的に把握する方法が使えるようになれば、そのような評価ができるようになるじゃないかと考えて話してみました。

藤田（ファシリテーター） なるほど。

佐々木氏 質問いただいたことは非常に難しく、現時点では分かっていないところもあります。確かに、特にパイピングは、繰り返すとどんどん起きやすくなる、土粒子が抜けてきて水が通りやすくなる、そういう事例も報告されていますけれども、では、定量的にどこからアウトで、どこからがセーフか？を評価するのは、難しい。例えば、今回の子吉川のケースで、これまでどのぐらい出水経験があって、これぐらいの出水で壊れましたという事実があって、では、他の場所ではどうなのかを検討する時に、子吉川の経験から求めた関係がどう使えるか？については、色々検証していかなきゃいけないと思われれます。このように、なかなか複雑で難しいというところです。

藤田（ファシリテーター） 現状の評価法では、既往の降雨と出水の履歴が土質性状に与える影響を



まり考慮していないというのが定番ですか？

佐々木氏 考慮しようがないといったところですよ。例えば、透水係数の設定は、ある時点で調査したときの透水係数に基づいていますし、かといって…

藤田（ファシリテーター） 履歴で土質性状がだんだん変わると言っても、それを把握するのは…

佐々木氏 変わるかどうかよく分からないところもあって。噴砂が起きるような出水を何度も繰り返すとすると変わるのかもしれないですけど、そもそもその透水係数自体が、先ほども説明したように、試験で出した値と、実現象を再現するための値がワンオーダー、ツーオーダーぐらい変わってしまうこともある。ですから、それを、出水の経験を活かして逆算して検証するとか、そういうことを繰り返していかないと、その議論をするのに必要な精度まで上がらないのではないかと。

藤田（ファシリテーター） ありがとうございます。

他はいかがでしょうか？今日は点検評価との関係が1つの主題ではあるんですが、それに限らず、ご質問をどうぞ。

▶ **対浸透破壊現象に関する局所弱部を把握するための詳細調査をどう効率的に行うか？どう実現可能にするか？についての議論**

質問者4 堤防の浸透の被災の起きる箇所には旧川跡が多いという話をよく聞くんですけども、そうだとすると、実際、治水地形分類図などを基に重点的に点検箇所を設定した方が良いのではないかと。そういうことが考えられるんですけども、いかがですか？

佐々木氏 まず、当然旧川跡とかで弱点になることが多いので、そういうところを重点的に先ほど言っ

に埋めて測るということをもっと積極的にされたらどうかと思います。(願がかなって)小さい出水しか来なくなつて、きっと反応するはずなので。黙って、じっと見ていて、何でそんなにじっくりやるのかなと、私は気が短いので、ついそう思ってしまいます。私だったら測るということをやりますけどね。

藤田 (ファシリテーター) ありがとうございます。国総研の研究者の方から“願をかける”という言葉聞いたのは初めてで、非常にフレッシュな感じがしました。

他はどうでしょうか？

▶ 点検評価等で見ているものと、見るべきものとのギャップにどう橋渡しをしていくか？についての議論

藤田 (ファシリテーター) 諏訪さんと福島さんのお話の中でも、見るべきもの、本当に見なければいけないものがあって、一方、今の技術と現場の体制で実際に見ているものがあって、これらの間の関係はどうなのか？について相当の議論になっていたと思います。佐々木さんのお話しでも、堤防の破壊とか、堤防の本来の機能に支障を来す現象が起こる可能性を事前に把握するために、やはり、こういう時にはこれを見ないといけない、という話が随分ありました。それは技術的に簡単に行くとは限らないということも合わせて。

そして、様々な仕事を行うことで大変な今の現場の状況を考えた時に、そのような、見るべきものを見たり、調べるべきものを調べたりすることを、現場ですぐに全面的に実施するのは簡単ではなさそうだと、という指摘も出ました。その上で、けれど、そこでどういう工夫とか重点化があるのか？ということ求めて、技術のあるべき内容を提示するサイドと維持管理のための点検評価を担う現場サイドの間で、コミュニケーションをよく取ってうまく歩み寄る。歩み寄るといふ言い方は変かな、うまく接点を

探すということでしょうか。そのようなことは、共通してとても重要ではないかと思います。

そうすることで、今まさにやっている点検評価などの中で、そのまま続けるべきもの、さらに良くしていくもの、加えていくもの、少し整理した方がよいものはどこなのか？がはっきりしてくるのではないかと？そういう構図が少し見えて来たのかなと。

まだまとめるのは早いんですけど、1つの整理としてお話ししました。

藤田 (ファシリテーター) 事前にいただいた質問の中に、「大雨の後に見るのは大事ではないか？」というご質問がありました。これは、ここまでの議論にもかなり関連があると思います。いかがでしょうか、この質問を出していただいた方、できましたらその観点も含めて、改めて質問内容を紹介いただけますか？

質問者 6 これは事例としてなんですけど。渡良瀬川のです。過去5年ぐらい、日常の点検とか堤防点検に携わらせていただきました。それで、「堤防の実力」を知るために、浸透に対する堤防の安全性の場合の外力としては、もちろん水位の上昇が大事ですが、もう1つが降雨だと思うんです。渡良瀬川では、この5年間で高水敷まで冠水したような水位が1回だけしかなくて、それ以外ほとんど水位の上昇ということはなかったんですね。そうした中で、平常時点検のデータをもう5年間積み重ねているわけです。けれども片や、物凄く集中的な降雨というのが何回かあって、そのようなイベントの後にすぐに見に行くと、破壊までは至らないんですけど、ちょっと水がしみ出ているとか、堤防の中の状態によって法面の途中に水が吹き出ているとか、いろいろな変状が起っていたことを記憶しています。

それで、提案としては、今の日常点検の中に出水までに至らないとしても、かなり強い降雨があった時に、その場所に限定して点検するということ

位置づけていただけたら、もう少し何か分かるんじゃないかと思い、この意見を挙げさせてもらいました。

藤田（ファシリテーター） ありがとうございます。佐々木さん、いかがですか？

佐々木氏 そうですね。出水後に水が出ているということなので、たぶん水が入りやすいとか、局部的に溜まりやすい箇所になっていたりして、弱点になっている可能性は否定できないところがあります。

一般的に言っても、他と違うことが起こっている箇所というのは、調査してみる価値はあるのではないかと。何らか違うことが起こっているというのは、何かが他の場所と違うわけで、そこは詳細な調査をするということは大切かと思います。それをきちんとした点検に位置づけるかどうかという点は、現場のマッパワー等の話もあるので、河川管理者において議論していくと良いのではないかと。

藤田（ファシリテーター） 何か負荷がかかった時の方が弱部などを発見しやすいというのは、どうも1つの共通軸としてありそうですね。では、それを具体的なやり方にどう落とし込んでいくかということが大事な議論のように思います。

藤田（ファシリテーター） 局所的な弱部を見つけることが非常に重要だという佐々木さんのお話を踏まえて、これは単純な発想ですけど、今はもう3Dでの詳細な地形データがすぐ取れるようになったので、先ほど水中測量にはまだ限界がある云々の議論が福島さんと諏訪さんとの間でありましたが、堤防だったら地上ですから、形状は、草丈による誤差は別にしてさっと3D測定できる。周りの地形もそう。そうすると、地形や形状については、その特性量が区間すべてで逐一分かり、比高差などについて一番厳しいところが簡単に抽出できるようになる。堤防形状や地形の面では代表断面の切り出し方に悩

む必要がなくなる。このことで点検評価が一段進むと考えて良いでしょうか？

佐々木氏 先ほど言ったように、形状が薄いか、比高が高いとか、そこをちゃんと見落としていないかというところでは、非常に役に立つかなと思いますが。

藤田（ファシリテーター） 満点ではまだないけど、一歩進むということに価値があると思えば良いんじゃないでしょうか。

佐々木氏 はい。

藤田（ファシリテーター） ありがとうございます。

ここで、私から質問をさせていただきます。

堤防の点検でキツネの穴とか、モグラの穴が発見されて、その後の措置についてどう判定するか？の議論が現場であります。特にキツネは法面と垂直の方向に深さ1.5mとか、2mぐらいの深い穴を掘るようです。それで、キツネの穴の深さがたとえば法面に垂直に1.5mあると、地盤工学的にどれぐらい脆弱になるか？ということは評価できるんじゃないでしょうか？

イノシシが鼻でぐっと堤防表面を突くことでできる表面の乱しも含めて、歩いて目視で発見する変状の中で、明らかに放置できない規模や程度のもものは、洪水時の挙動の議論以前に措置の判断をする場



合もあるのですが、それは当然としても、変状によっては、洪水時に堤防の機能に支障をもたらすのかを技術的に知ってから判断をしたいというものもあるわけです。

その代表としてキツネの穴の話を取り上げて、佐々木さんに、専門家の目から見たらどうかとお聞きしたいと思いました。

佐々木氏 キツネの穴の径はどれぐらいですか？

藤田（ファシリテーター） 聞きかじりですけど、直径20cmぐらいの穴を掘るんだそうです。そしてキツネは深く掘るらしくて、法面から直に1.5mぐらいまでは普通に。それが、もう大変なことなのか、そうでもないのか？

佐々木氏 条件によりますよね。関係ないといったら関係ないし。堤体のパイピングが起きやすいかどうか？が問題となった場合は、1.5m分、局所的に平均動水勾配が下がってくるので、それが支配的なものだったら効くでしょうし、逆に堤体より基礎地盤の方の問題が大きいなら、関係ないという話なので、一概には。

藤田（ファシリテーター） やはり、堤体や基礎地盤の特性に応じて決まってくるということですか？

佐々木氏 それによってしまうと思います。関係ないということだったら関係ないですね。

諏訪氏 私が、このセミナーの第2回で講演した時の4. 2の4枚目のスライド（第2回河川研究セミナーにおける諏訪氏の講演資料の86枚目のスライド）が、キツネの穴ではないですが、実験でパイピングが進行してだんだん浸透距離が短くなっていく状況を計算で調べたものなので、参考になるはずで。このスライドから考えれば、私は、定性的には少なくとも堤体の幅が狭くなっているんだから、そ

れは危険に決まっていると思うんですけどもね。だから、すぐ破堤になるかどうかといたら、それは分かりませんが、それは健全な状態と比べたら落ちているのは間違いないんだから、直ちに決まっているでしょうと、私は思います。

佐々木氏 もちろん直しますよ。直しますが、致命的と技術的に判断できるかと問われたら…まあでも、すぐ直す方が良いでしょう。

藤田（ファシリテーター） お二人のお話で全体像がよく分かったような気がしました。ありがとうございました。やっぱり問題は問題ですよ、1.5mもの深い穴があったら。

▶ **河道の洪水流の詳細な情報（[洪水位や水面勾配、流速など]の細かな縦断変化など）をリアルタイムで把握・予測するシステムの実装を受け、これをどう活用していくか？についての議論**

藤田（ファシリテーター） 土屋さんにも来ていただいています。このセミナーの第1回で土屋さんから、まさに洪水が起こっている最中に、今水面形がどうなっているか？とか、流速がどこでどう上がっているか？とかの情報が、観測技術と解析技術が進んできていることで、従来よりも詳細に提供できるようになりつつある、それが理屈上はどんどん発展していく、実務でも展開が始まっている、というお話をいただきました（第2回河川研究セミナーにおける土屋氏の「新しい洪水予測手法：水害リスクライン」の講演）。そして、この技術で数時間の予測も組み込まれ、その精度も従来手法に比べ向上しているとのことでした。

ここで、そのような、河道の洪水の流れについての詳細なリアルタイム情報が、河川の維持管理、施設の維持管理にどのように活用できるのかについて、ご議論いただきたいと思います。

今日ここまでは基本的に、平常時の点検評価を通

じて、極端ですがもし明日にでも大きな洪水が出た時に「どれぐらい堤防が頑張れるのか？」といった河川の実力をどう読むのか？ということでやってきました。その意味で、リアルタイムの洪水の流れの情報の活用は、少し先を見たものになります。なお、リアルタイムの情報と言うと、いわゆる避難への活用と言うことが出て来ますが、今日は、それは扱わないことにします。

ユーザーサイドの立場で、福島さんの目から見て、このような情報が技術的にどう使えるのかについて少しお話をいただき、逆に、土屋さんから見て、そのようなニーズに今の技術で応えられるのかどうか、そんなやり取りからミニディスカッションにつなげていければと思います。

福島氏 1回目の振り返り（福島雅紀氏による第1回セミナー講演の要点の提示）のところで、キーワードとして少し逃してしまったなと思ったのが、先ほど佐々木さんから出てきた「経験水位」です。過去、この堤防はどこまでの水位を経験したのか、という情報のことです。1回目の講演の時に私がお話ししたのは、「経験摩擦速度」とか、「経験水面勾配」ということでした。実はその河道に過去にどのぐらいの掃流力、摩擦速度、水面勾配が起こっていて、作用した川底を動かす力はどのぐらいになっていたかという経験を踏まえると、川底がどのぐらいの力を受けても持ったのか（ふだんの川底の状況が激変しないで概ね維持される）が明らかになる。洪水が流れることは、佐々木さんが言っていた堤防にとっての実験と同じで、河道や川底にとってまさに実物大実験です。そのぐらいだったら持ったという実績についての情報があることは、非常に大事と思っています。

今の水害リスクラインが、リアルタイムですから現況はもちろん出てくるんですけど、既往の洪水で最大はどのぐらいだったのかという情報が一緒に見られると非常に良いなと思っています。過去にはここまで最大来ていたんだよと、それで今回はここ

まで来ているんだよとか。洪水継続時間も同じですね。洪水継続時間が過去は何時間ぐらいで（この高い水位）来たのか、今回はこれぐらいで来たよとか、そういう比較が出てくると、これは危なくなっているんじゃないか、とかが見えてくるのではと思っていますところですよ。

藤田（ファシリテーター） 土屋さん、それはできるんでしょうか？

土屋氏 過去の計算を持ってきて比較するというのは、やり方さえ、どうやれば良いかというのが決まりさえすれば、できると思います。

福島さんの発表の中で摩擦速度という言葉がキーワードで出てきましたけども、これも当然計算することができて、それが洗掘とかにどのように関係があるのかということも、今後、それを結びつけていくことをやっていくことになると思います。そうして、摩擦速度などを計算して、同じ条件だったのに、ここは（洗掘とか）何もなかった、ここは何らかあった、ということが、リアルタイムで水位を予測する技術を活用することで、分かってくるのではないかと思います。

あと、この水位の計算技術ですけれども、それにはデータ同化というものを入っていて、川の観測水位に合うようにその都度パラメータを調整して、精度を向上させています。つまり、観測水位に合わせるために時々刻々たとえば粗度係数を変化させてい



ることになります。これは、時々刻々、それぞれの場所での粗度係数を求めているとも言えるわけであり、この粗度係数が前の洪水と今回の洪水でどのように変化をしたかということ进行分析していくと、河川の実力が出水を通してどう変わったか、何か起きているのではないかというようなことを抽出するのに役立つのではないかと思います。

この洪水予測システムは、24時間365日動かして計算しておりまして、小規模洪水、中規模、大規模と全部計算しています。ある意味、その計算データはビッグデータだと思うのですが、そういうものを活用して、変状のレベルと摩擦速度などの洪水の作用との関係进行分析して、機能を失い始める洪水規模とかを推定することにも役立てていけるのではないかと考えています。

藤田（ファシリテーター） あと思ったんですけど、中小洪水だと比較的起り頻度が高いはずなので、とすれば、「同じ規模だけど、あれっ」というような今話に出た分析が結構高い頻度でできてしまうということですね。中小洪水でも全部一応同化はしているんですか。

土屋氏 全ての洪水で同化は行っています。

藤田（ファシリテーター） その規模の洪水で精度の確認ができていれば、使うデータの信頼性も一応分かって大規模洪水での利用に臨めるということですね。

福島氏 諏訪さんからセグメント1とか2-1というのは侵食に対して危ないぞという話があったんですけど、そこでの「河道管理基本シート」を全部見て子細に検討するのは大変で、航空写真の話もしたんですけど、今の土屋さんの話で、そういう時々刻々の洪水データから、今回出水を受けたときに、そこがおかしかったぞというところが分かれば、そこを点検すれば良いということになって、そ

ういうことができると楽かなと思います、補足させていただきます。

藤田（ファシリテーター） 河道の洪水流についての詳細なリアルタイム情報、これには数時間先の予測も含まれますが、これを「河川の実力を読む」ことに活用する議論は、先ほど言いましたように少し先を見た話しかないと考えています。ですので、現場で維持管理などに当たられている方からすると、まだ実感を掴みにくい内容だったかもしれない。その辺りも含めて、今までの議論を聞いていただいて、特に現場サイドからご質問、ご意見など出していただければありがたいのですが？



質問者7 北陸（の国管理河川）の場合ですと、セグメント1の急流河川で、洪水位がピークを過ぎて下がっていく時に、堤防が河岸侵食で被災するということがあります。先ほどのお話を聞いていて思ったのは、洪水位が下がっていく時の方が、つまり水がどんどん引いていく時に、結果、摩擦速度がさらに高くなっているのかなというふうに思って、お話をお聞きしました。ですので、そういった川の力というものがリアルタイムに表現できるようになると、その力が強くなって一定の閾値を超えると河岸侵食が発生して堤防に危険が出る可能性があるとか、そういうようなことも見えてくるのかなと思ってお話を伺いました。

藤田（ファシリテーター） 現場の、たとえば河川

事務所の方が、水位縦断形を見て、今危ないとか色々判断できるというのは、技術面で、おそらくまだハードルが高いと思います。まずは、プロ集団というか、水位と水面形のリアルタイムの変化とか、さきほど福島さんからあった過去との比較とかを読み取れる専門家が、洪水流の情報を現場が判断すべきことに翻訳する、そういうことがまず必要ではないかと。そうすると、国総研あるいは土木研の皆さんのような専門性を持った方々が、そのような翻訳のやり方をつくっていくことが大事なのではないかと思っています。そういうことで頑張っていただけるということで… うなずいていらっしゃいます。ありがとうございます。

土屋氏（第1回河川研究セミナーにおける土屋氏の講演資料の8枚目のスライドを示しながら）私がこのセミナーの第1回で発表した時は7月末で、水害リスクラインは10河川公開して、しかも自治体限定だったのですが、9月の中旬から50河川を一般公開して、川の防災情報で見られるようになっておりますので、見ていただければと思います。インターネットで誰でも見られるようになっています。

藤田（ファシリテーター） 365日24時間？ たった今も見られる？

土屋氏 動いています。今も見ることができます。

藤田（ファシリテーター） ということだそうですね。ありがとうございます。

※セミナー記録編集者による注記

その後、水害リスクラインは令和2年2月19日時点で、94河川が一般公開されています。

9. ディスカッション・パートーその3

▶ **研究所の人間から現場実務を担う技術者へのメッセージ：こういう取り組みが大事だ！ こういうことを是非考えてほしい！**

藤田（ファシリテーター） 今日のセミナーにご参加いただいた皆さんの中には、行政の河川管理者という立場の方もいらっしゃったし、民間のコンサルタントという立場の方もいらっしゃった。その中でも、いわゆる測量や現場調査を担う方もいれば、解析を主な業務にする方、そして、いわゆる計画系の方もいらっしゃるはずで、民間でもこれらと違う立場の方もいらっしゃると思います。このように様々な技術者に参加いただいています。

そのような、河川のそれぞれの現場で具体的な仕事を担っていらっしゃる方々に、研究所の人間として、「こういうことを是非やったら良いんじゃないか」という何か提案がありましたら、ここでいただきたいと思います。既に今までお話しいただいたことの強調でも構いません。また合わせて、言い残したことがありましたら、付け加えていただければと思います。

自分たち研究所の立場で、研究や技術開発に取り組む中で、これを是非、現場だったり、あるいはコンサルタントの方でも良いですし、同じ民間でもそれ以外の分野の方でも良いんですけど、「こういう方向のことを考えてほしい、取り組んでほしい、自分たちはこう考えこうやるけれど」というようなことがおありになるとと思いますので。

では、並んでいる順に、諏訪さんから良いですか。

諏訪氏 いくつか言いたいんですけども。

まず、藤田さんが国総研をやめるときにおっしゃったことがありました。言われたことだけやっているんじゃだめなんだと。言われたことはやるんだけど、当然それ以上のことを考えてこそなんぼだ。こういうことがありましたので、私が、今日、

ポイントを言ったのは、ポイント以外のところは最低限やれば良いと思うので、（ポイントをはっきりさせることで力を入れるところを絞り、それで）是非余力をつくって、現場の方々にも工夫してやっていただきたいなと思います。聞いていて分かると思いますが、私らは理屈ばかりなので、そこに是非現場から刺激を与えていただきたいなと思います。

それから、あと、あまり話さなかったことですが、現場のデータを取るということも大事です。だから、植生の根でも茎でも良いんですけど、じっくり集めるとか、土の耐力のデータを取るということも、すごく大事だなと私は思っています。1回点検に回ったら、1カ所ずつ取ってくることで良いので、現場のデータを積み上げるということをやってももらえるとうれしいなと思います。

以上です。

福島氏 私が感じたことは、繰り返しになってしまうところなんですけど、先ほどお話した「経験」というのは非常に大事だなと思っているので、自分が管理している川、もしくは委託を受けて仕事をしていただいているところでは、過去にどんな水位が生じたのか等々、どんな水面勾配が生じたかというのを、一度見ておいていただけると良いと思います。

あと、1つこれは言い忘れたなと思ったのが、途中であった今後必要な技術ということで、ALBとかの話がありましたけれど、ALBとかは本当に素晴らしいんですけど、早く結果が出てくるというのは大事かなと思うのですが今だと1週間とか待たないとデータの精度が確保できないという話になってしまう。例えば、地震後にぱっと取ったら、次の日の朝には危ないところが見える、というようなことができる、すごく活躍できるんじゃないかと思えますので、航測会社とか計測会社の皆さんには、その辺を改良していただければと、そこは大事な話かなと思っています。

あと、最後に1点ですけど、管理をやって、うれしくなるような、本当は、これは実は本省の予算の

世界なのかもしれないですけど、管理をやったら本当にうれしくなるような予算措置が出るとか、そういうふうにはなっていないと思って。どちらかというと、改修のほうが中心で進んでしまっているの、管理の予算をどうにかしていかないといけないなと思っていて、これは常々皆さん思っているところかもしれないですけど、そこがついてくると、お金が取れるんだから、やっぱり頑張ろうみたいな話になってくるので、そういった世界が大事かなと思っているという、愚痴みたいな話ですね。

以上です。

藤田（ファシリテーター） 最後の点については、本省の人とよく対話されるとよろしいかなと思いました。

土屋氏 私は、あまり川の変状とか、そういうことの専門ではないのですけれども、今日こういう形で、また1回目に参加しまして、私のやっている分野を横串に刺して見るというのでしょうか、そういうふうに見ていくと、より河川の技術が広い意味で高度になっていくのではないかと思いました。自分のいる分野にとらわれないでやっていくことが大事かと思ったところです。

佐々木氏 発表の中でもお話したんですけど、何かしらの変状とか、被害とか、そういうのを受けたときに、復旧対応を急がなきゃいけないとか、色々あるんですけども、そこに「今後の管理をどうしたら良いのか？」などにつながる貴重な情報が入っていると思います。是非しっかり調査して、何が原因なのか、それを明らかにすることで、その箇所はもちろん、それ以外の場所についても、今後の管理を良くしていくことにつながっていく情報がたくさん得られると思います。是非、そういうところを無駄にしないで、いろいろやっていただきたいなと思います。

藤田（ファシリテーター） ありがとうございます。

▶ 現場実務を担う方からの声：現場の志気が上がる好事例を共有したい！

藤田（ファシリテーター） では、ご参加いただいている会場の皆さんから、特に現場実務を担っていらっしゃる方々から、パネラーの4人の皆さんに、こういうことをぜひ進めてほしい、こういうのを是非実用化してほしいというようなリクエストがあれば、お聞かせいただきたいと思います。この4人はこの分野の代表的な方々で、このような機会はそうは無いと思いますので。いかがでしょうか？

事前に皆さんからいただいた質問の中で、河川の実力を読む技術について、河川管理の現場に何が不足しているかということを知りたいという質問、要するに、現場がもっとやらなきゃいけないことは何かを知りたいという質問がありました。これについては、今日のお話しや議論を通じて、パネラーの方々から随分ご指摘、ご示唆をいただいたと思います。その点でさらに知りたいということでも結構ですが、いかがですか？

藤田（ファシリテーター） それでは、最後にまわってしまっただけで申し訳なかったんですけど、事前にいただいた質問の中で、ご意見と言った方が良いのかもしれない。非常に力強い、志のあるご意見をいただいています。これは許可工作物、主に樋門・樋管の管理に関する事です。それを少し紹介させていただきます。

見える激しい現象については、それについて調べ対処することについて理解が得られるんだけど、本当に見なきゃいけないものについては、それを調べるということについて、マニアックに思われてしまい、なかなか理解が得るのが難しい。だからこそ、「見えるから知るのではなく、知っているから見える⇒見れば対策工が浮かぶ⇒そのためには【知る努力】を継続することが重要」である。そして、その

ような観点で水系全体の志気を挙げた良い事例があれば是非教えてほしい。

そういうふうに、この質問には書いていただいています。ちなみに、この質問は、まさに現場で国管理河川の維持管理に当たられている方からのものです。この方から今直接お話しいただいて、質問の趣旨で補足することがあればそうしていただいて、その上で、今日のセミナーの内容はどうだったか？そのような事例を吸収できたか？その辺の感想も含めて、コメントをいただけるとありがたいと思います。



質問者8 質問が的を射ているかどうかよく分からなかったんですけど、まず、平成25年度の河川法の改正によりまして、適切な時期に点検をして、維持管理をなささい、となりました。国の責務としまして、我々のような国の河川管理者が点検、維持管理を自らきちんと実施することだけではなくて、関係する管理者にとって模範となるような体制を講じなければならないというところで、我々が少しでも先駆的な役割を果たさなければいけないのかなと考え中、事務所としても、そういった方々（国以外の関係する管理者）を対象に講習会などを開かせていただいています。しかしその質問に書きましたように、なかなかすべてを伝え切れるものではないという認識がありましたので、全国の中で良い事例があれば御紹介いただきたいと思ったわけです。なかなかこういったものに苦慮しているというところがありましたので、質問を投げかけさせていただきました。

今日の講習を、私自身、受けまして、初めにご紹介いただいた検討台帳のイメージ、これの事例を積み上げていくことによって、そしてやはり各管理者の中でもレベルというのがそれぞれ違いますので、各自治体の方などと一緒に取り組んでいくことで、全体的な底上げにはなるかなと思います。個人的な意見ではございますが、パネラーそれぞれの皆さんからのご説明を持ち帰り、現場の方に普及させていきたいなと思っておりまして、個人的には有意義な講習を受けさせていただいたなと、そう思っております。

以上です。

藤田（ファシリテーター） それぞれの立場や分野で努力をしている、その内容を共有し、知恵を出し合えるようにするのはすごく大事なことだと思います。忙しい中で来ていただいた、つくばの研究所の4人の方もすごく努力されていて、それは官民間問わず同じで、そうした皆さんは、技術的に良くしていくという共通の大事な目標に向かってであれば、互いに協力的であろうと思います。なかなか時間が取れないので簡単ではありませんが、有意義な情報や知恵を共有し交換する機会をつくることはこれからも大事だと思います。

▶ まとめコメント

藤田（ファシリテーター） 3回にわたりまして、かなり緻密な話から、大きな方向性の話までやらせてもらいました。このセミナーが、少しでも、今日最初に申し上げた、維持管理を次のステージに向かわせることに役立つものになっていればと思います。

維持管理について言えば、もちろん、今の仕事のやり方はとても大事です。実は事前にいただいた質問にも、今の点検の方法やあり方について、とても大事で実践的な質問を結構いただいています。それは別途事務局から答えるようにします。

その上で、今のやり方できっちりやりながら、そこにとどまっているだけでなく、もう一段ステージを上げていくことも考えておく必要がある。そのためには、維持管理を支える技術の現状と、それがどういう方向で発展していくか？が大事になる。それで、つくばの研究所の方をお招きして、お話しただいて、河川の維持管理の次の展開がどうなるか、少しでも良いからイメージを皆さんが持っていただければ良いなと考えて、このセミナーを企画しました。官民を含め、様々な方々がここにいらっしゃいますが、それぞれの立場でそのようなイメージを少しでも持っていたただけたのであれば、河川財団としても大変幸甚です。

予定の2時間を少し過ぎてしまいました。本当に長い時間、ありがとうございました。

それから、パネラーとしてお越しいただき、ディスカッションも含め貴重なお話をいただきました4名の方々にも深く感謝を申し上げます。

私のファシリテーターとしての役割はこれで締めたいと思います。

10. 閉会

田中（司会） 活発な議論をいただきまして、ありがとうございます。改めてパネラーの皆さまに拍手をお願いいたします。それでは、本日の締めくくりですけれど、当財団の理事長であります関より閉会の挨拶をさせていただきます。



関 克己（公益財団法人 河川財団 理事長）

河川財団理事長の関でございます。

今日は皆さん、お集まりいただき、まさに参加をしていただき、本当にありがとうございました。

それから、国総研、土研の科学者・研究者の皆さん、本当にありがとうございました。

私も、今日、聞かせていただいて、最近、いろいろな分野の研究者の皆さんと議論をしたりしているのですが、今日、あるいは、この3回を通じてお話しいただいたことは、どういう表現が良いのかと思うのですが、少なくとも日本で最先端、それから世界でも日本と同じような条件を持っている川といったところに関する研究としては、まさに最先端の研究を担っておられ、成果を上げておられる。その成果を、我々が、こうも簡単に聞かせていただいて良いのかなと思うぐらいの内容をお話しいただいたということで、改めて御礼を申し上げます。ありがとうございました。

この「河川研究セミナー」は平成24年から始めております。ちょっと変な言い方ですけど、元々こういう河川にかかわる分野というのは、現場が研究成果に触れる機会がなかなか無い。現場も、行政にかかわる方、コンサルにかかわる方、あるいは実際に河川の工事に携わる方がいらっしゃいますが、そういったところとのつながりがなかなか無いという問題意識があり、研究成果を一緒に共有化させていただいて、広い意味での河川管理を少しでも良いものにしていこうと、こんな思いで始めてまいりました。テーマも維持管理だとか総合土砂管理だとか、いろいろ経て、今年度は「河川の実力を読む技術」ということで、それこそある意味で一番の原点に返った議論ができた、そういう年だったのではないかと思います。

そういう中で、私なりにいくつかキーワードがありまして、今日は藤田所長から閾値の理論までは行かないけれども相当読めるようになってきている、つまり研究・技術開発が進んできているとの話がありました。これは観測する技術も含めて、それから

評価する技術も含めてです。そういう中で、さらに河川の表面でなく川底を三次元的にもっと見るような技術とか、リスクラインの話であるとか、堤防の話でも評価をした上で断面の見直しをするところまで来ている－これには重信川の例を挙げていただきましたけど、まさにそういう状況になってきている。これは、ちょっと長くなるのですが、ある意味で、研究成果と、それを実際に使う、活用し生かしていく立場の行政・民間の皆さんとの間の、ある意味で“作法”をどう考えていくか？ということなのではないか。今までなかったんですね、その作法をどう組み替えていくかということが。そういう中で、前回ですか、（諏訪さんから出た、研究所の人間と現場の技術者がもっと）一緒に考えましょうという話は象徴的だったと思っていて、今日参加の皆さんからもいくつか意見をいただきました。まさにこれは、今までなかった、新しい研究成果をどう生かしていくかという作法をこれから一緒になって本当に考えることであって、考えて行かなければいけない。そういう状況になっているという、そんな年に、それを見据えたセミナーをさせていただいたと思っています。

そういう中で、2つほど言いますけれど、リスクラインが一番象徴的だと思っています。要するに、今までは、広い意味で河川にかかわる人が情報を持っていたのですが、リスクラインはもう瞬間的に社会公表なんです。共有化なんです。そういう中で河川の管理をどうしていくか。それは堤防のデータから含めて皆どんどんそうやってきますから、そういう中で、どういように作法をつくっていかなければいけないのか。これは行政だけでできることでもありません。研究者の皆さんのこういう成果を取り上げて、民間の色々なかかわっている皆さんと一緒に作法をつくり上げていかなければいけない。その象徴的な例ではないかなと、こんなふうに思っています。

あまり自画自賛したらいけないのですが、そういう中で今年の内容は、今後に向けてのある種

の、ひとつの転機となるようなことになったのではないかと。

そういう意味で、今日の後半のほうで、2つ大事なキーワードが出てきた。「うれしい」という言葉と「良い」事例です。

何かあると怒られる。「こら」とか「けしからん」というばかりになるのですが、「うれしい事例」とか「良い事例」というものをどう前向きにつくっていくかということが、作法の中で最も求められるものではないか。こんなふうに思います。

1事例だけ紹介しますと、鬼怒川が大変だったときに、栃木県が管理する川も結構大変だったんですね。被害も受けて。そういう中で、栃木県は思川を徹底的に点検して、その点検結果に基づいて補強していたんです。だから思川は、同じような外力を受けても、ほとんど被災に至らなかったのですが、誰も知らないんですね。それで、雑誌『河川』に書いてもらいましたけれど。私ども河川財団も広い意味での河川管理に取り組んでいるのですが、今日のお話を伺って悪い事例ばかり集め過ぎていたかなという気もしまして、良い事例とかうれしい事例、こういうものも皆さんに共有してもらおう、そんな取り組みにしていかなければいけないということを感じたところでした。

3回にわたって皆勤で出ていただいた方も何人もおられますし、本当にお忙しい中、参加していただきありがとうございました。また来年もいろいろと知恵を絞って、新たな展開に向けて努力していきたいと思います。本当にありがとうございました。

改めて今日のパネラーの皆さんにお礼を申し上げます。最後の挨拶とさせていただきます。

本日は本当にありがとうございました。

田中（司会） それでは、これで本日の河川研究セミナーを終了いたします。

なお、本日を含めまして、今年、全3回行われましたけども、そのセミナーの結果、内容につきましては、後日、河川財団のホームページに掲載する予

定にしております。皆さまの各職場でご活用いただければと思います。

本日は大変ありがとうございました。

- 完 -



〒103-0001

東京都中央区日本橋小伝馬町11-9

TEL : 03-5847-8304 FAX : 03-5847-8309