

平成27年度

# 河川研究セミナー講演録

## — 河川維持管理 —



公益財団法人

河川財団

平成27年度

# 河川研究セミナー講演録

— 河川維持管理 —

公益財団法人 河川財団  
河川総合研究所



# はじめに

---

河川財団では、河川の新たな調査研究課題のシーズ調査や啓発を目的として、国土交通省国土技術政策総合研究所及び国立研究開発法人土木研究所より講師をお招きして「河川研究セミナー」を開催しています。4回目となる平成27年度は、国土技術政策総合研究所のコーディネーターにより、「河川の維持管理」をテーマに取り上げ、4回のセミナーを開催しました。

河川の維持管理を巡っては、平成23年の河川砂防技術基準（維持管理編）の策定や平成25年の河川法の改正を契機に、関連する通達やマニュアル等の整備が矢継ぎ早に進められ、河川の点検が本格的に実施されるようになりました。一方、河川管理の現場では、点検が定着するに連れて、その結果をどのように河川管理や危機管理に生かしていくのか、または点検を通じてどのような情報が必要とされるのか、そのためにどのような点検であるべきなのか、といった、発展的な課題に直面しているものと考えられます。本セミナーでは、その考え方に迫るべく、「計測技術の活用による状態把握実務の展開」、「堤防の維持管理」、「河道の維持管理」、「これからの河川管理」をテーマとして取り上げ、会場の皆さまとその方向性を探りました。

本講演録は、講師のご理解を得て講演内容を取りまとめたものです。行政、研究者、民間の立場から、河川の維持管理についての現状と課題、新たな状態把握技術等について幅広く触れられており、河川管理の実務に大変有意義なものとなっておりますので、実務に携わる皆様に参加としていただければ幸いです。



# contents

<b>第1回 河川維持管理における計測技術の今後の展開</b>	
時岡真治 氏（国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 河川保全企画室 企画専門官）	
.....	4
<b>河川構造物の点検・診断技術に関する国総研の取組</b>	
杉原直樹 氏（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）	
.....	12
<b>計測技術の活用による状態把握実務の展開</b>	
安原 達（公益財団法人 河川財団 河川総合研究所 戦略的維持管理研究所長）	
.....	19, 32
<b>FT 図を用いた河川の機能低下による変状把握手法</b> —河道を事例として—	
永矢貴之 氏（株式会社 建設技術研究所 東京本社河川部 次長）	
.....	24
<b>河川管理に活用可能な計測技術</b> —最近のリモートセンシング事情—	
堀内成郎 氏（株式会社パスコ 事業推進本部 統括技師長）	
.....	36
<b>河川の維持管理に活用が考えられる状態把握技術の事例</b>	
三木博史 氏（一般社団法人 リバーテクノ研究会 技術開発委員長）	
佐藤謙司 氏（一般社団法人 リバーテクノ研究会 地盤 WG リーダー）	
.....	49
<b>第2回 堤防の維持管理</b>	
佐々木哲也 氏（国立研究開発法人 土木研究所 土質・振動チーム 上席研究員）	
.....	59
<b>第3回 河道の維持管理</b>	
服部 敦 氏（国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室長）	
.....	103
<b>第4回 今後の河川維持管理の課題と方向性</b>	
藤田光一 氏（国土技術政策総合研究所 研究総務官）	
.....	143
<b>〈全体討論〉「これからの河川維持管理のあり方について」</b>	
.....	158



平成27年度  
第1回 河川研究セミナー

河川維持管理における計測技術の今後の展開

時岡真治氏（国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 河川保全企画室 企画専門官）

杉原直樹氏（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）

安原 達（公益財団法人 河川財団 河川総合研究所 戦略的維持管理研究所長）

永矢貴之氏（株式会社 建設技術研究所 東京本社河川部 次長）

堀内成郎氏（株式会社パスコ 事業推進本部 統括技師長）

三木博史氏（一般社団法人 リバーテクノ研究会 技術開発委員長）

佐藤謙司氏（一般社団法人 リバーテクノ研究会 地盤WGリーダー）

開催日：平成27年6月12日（金）

場 所：クリエクロス神田





## 計測技術の活用による状態把握実務の展開

安原 それでは本日のとりまとめ役を務めさせていただきます安原と申します。よろしくお願いします。

今年の河川研究セミナーは「河川の維持管理」をテーマとして取り上げ、全4回を企画しております。昨年は5回の開催とも国総研、土研の講師の方をお迎えしましたが、今年は実務の側からの発表も織り交ぜたセミナーになっております。

本日のテーマは「計測技術」を取り上げました。河川の維持管理につきましては、PDCAサイクルが動き出し、堤防、河川管理施設の点検が行われるようになっております。ここでは目視点検が中心ですが、最近ではMMSとか、さまざまな計測技術を使った状態把握の手法が行われております。そのような技術が出てくる中で、今後の状態把握の全体像が一

体どようになっていくのかということを知技術の紹介の中で描き出そうということが本日のセミナーの趣旨でございます。

ということで、ご講演いただく皆様方はその辺りのさまざまな情報をお持ちの講師の方をお招きしております。

まず、前半に国土交通本省、それから国土技術政策総合研究所から最新の行政動向や 技術開発の動向について話題提供をしていただきます。その後は私の方で流れを整理しながらご発表させていただき、問題提起をさせていただきます。その後、新技術についてのご紹介をしていただきます。最後に、発表者の皆様からの質疑応答の時間を設けます。会場の皆様も進行にご協力をお願いいたします。

# 河川維持管理における計測技術の今後の展開

国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 河川保全企画室 企画専門官  
時岡真治

時岡 国土交通省 水管理・国土保全局で維持管理の担当をしております時岡と申します。よろしくお願ひします。

本日は安原さんから、キックオフなので行政側の計測技術の取り組み、あるいはニーズを紹介してほしいと言われておりますので、そのような観点で少し資料をご紹介します。

計測技術に入る前に、まず今、維持管理をどのように進めようとしているかということについて説明させていただきます。こちらは平成25年に河川分科会でまとめられた方針の内容を書いております。(スライド1) これは私なりの解釈をさせていただきますが、(1)が、今後の維持管理を進める上での「管理水準の持続的な確保」です。これは平成25年に河川法が改正されまして、維持管理を明確に位置づけたとか、あるいは技術基準を作っていくというような維持管理の標準化をしていくものでございます。

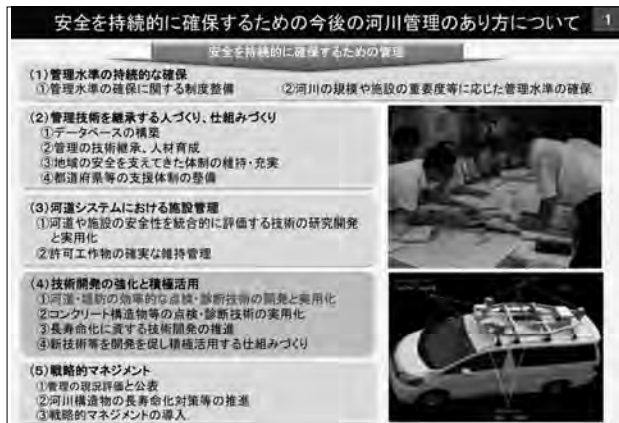
しかしながら、やはり維持管理は個々の河川によりまして状況が違いますし、経験に負う部分が非常に多いということがございますので、やはりそれを補うためには(2)の「管理技術を継承する人づくり、仕組みづくり」ということとございます。それで会場の皆様方も河川点検士、維持管理技術者の試験を受けられる方もおられるかもしれませんが、まさしくそのようにこれまで河川の経験豊富な方々を積極的に維持管理の場面で活躍していただくというものでございます。維持管理に関する業務でございませつか、調査、その他測量も含めまして、積極的にさまざまな場面で活用しようと思っておりますが、決してこれは「業務」というものではございません。私たちが期待しているのは何かと申し上げますと、これはその川を見るプロフェッショナルを求めているということとございます。この川で気を付けな

ければいけないことは何か、あるいはこの場所の変化をどう捉えているか、そのようなモノを見る目、川を見る目を持っている、そのような技術者の方々をしっかりと「プロフェッショナル」と位置づけて河川管理の場で活躍していただくという、そのような趣旨でつくっております。

そのような内容が、まさしくこの(3)にございます「河道システムにおける施設管理」、そのような河川全体を、この川でどこが気を付けなければいけないのか、あるいは測量した結果、あるいは点検をした結果、この変状はどのように解釈すればいいのか、それをどう対処しなければならないのか、そのような、川を見る目を持っている方々をこのような維持管理に関するプロフェッショナルとして、さまざまな場面で活躍していただく。

逆に、今度はそのような、その川で気を付けなければならない場所、気を付けるべき事象が明確になってくると、そこをしっかりと計測するような技術が必要になってくるということで、この(4)の「技術開発」の強化と積極活用ということが必要になるのではないかと。どうしても今までの私たちの維持管理、巡視、点検、その他測量等も、河川をどちらか

## ● スライド1



安全を持続的に確保するための今後の河川管理のあり方について

安全を持続的に確保するための管理

- (1) 管理水準の持続的な確保
  - ① 管理水準の確保に関する制度整備
  - ② 河川の規模や施設の重要度等に応じた管理水準の確保
- (2) 管理技術を継承する人づくり、仕組みづくり
  - ① データベースの構築
  - ② 管理の技術継承、人材育成
  - ③ 地域の安全を支えてきた体制の維持・充実
  - ④ 都道府県等の支援体制の整備
- (3) 河道システムにおける施設管理
  - ① 河道や施設の安全性を統合的に評価する技術の研究開発と実用化
  - ② 許可工作物の確実な維持管理
- (4) 技術開発の強化と積極活用
  - ① 河道・堤防の強制的な点検・診断技術の開発と実用化
  - ② コンクリート構造物等の点検・診断技術の実用化
  - ③ 長寿命化に資する技術開発の推進
  - ④ 新技術等を開発を促し積極活用する仕組みづくり
- (5) 戦略的マネジメント
  - ① 管理の現状評価と公表
  - ② 河川構造物の長寿命化対策等の推進
  - ③ 戦略的マネジメントの導入

と言いますと均一に見ていました。そのようなことを定期的にやっていたわけですが、やはりこれからそれを効率的に、さらにそれを高度にやっというとする、やはりその川のポイントを捉えるという見方が大事になってくる。それに伴う技術の開発が必要になってくる。そのように捉えております。これらを踏まえて戦略的にその川を管理していく、そのような仕組みづくりをしていく、これが今後、河川の維持管理の中で進めていかなければならないものだと思っております。

今日はこの中の技術開発、特に「計測」に関してということでございます。こちらは分科会の中でも出た今後の取り組みというものでございます。詳しくはこの後の専門家の方々がご紹介をされますけれども、後ほど私も触れます。1つは、空洞化の調査。今現在、河川の巡視・点検と言うと、どうしても目視が主体になっているということでございます。どうしても目視で見えないところを、どのように機器等の計測器を活用していくかというのが1つ目でございます。(スライド2)

それで隣の「UAV」、これは新技術の活用でございます。やはりUAVを見ますと、やはりこれまでの写真とか、そのようなものとは大きく違います。例えば昨年も融雪出水等で東北の方で護岸が決壊しましたけれども、これまでの陸上の写真と違って、UAVで水面側から撮りますと、やはり水の流れが変わっている、中州の発達によって水衝部になってい



る、となると、護岸が決壊した箇所の上流側の方も危険だということ、非常に分かりやすくなります。そのような、今まで私どもが静止画でございすとか、陸上から見ていたところが、鳥の目で見れるということは今後の河川管理で役立つであろうと思っております。

次に、左下でございますロボット開発です。これはもう政府を挙げてロボット技術というのを導入していこうという形で取り組んでおります。今も水中ロボットをやっておりますけれども、私の感想から言いますと、ダムの方は割と効果があると思っておりますが、なかなか河川の中での水中ロボットは、多摩川で護岸根入れの洗掘とか川の中を見ていますが、これはあまり少し現場のニーズと一致していないのかなという感じがしております。やっぱり、流れがある中ではなかなか難しい。やっぱり人が直接潜った方がいい、と。

しかしながら今、私たちが管理している施設の中では、例えば外郭放水路の立坑というのは今まで一度も点検したことがございません。やはり人が行けない、見れないということがありまして、点検ができないようなところがある。そのような、人がどうしても近づけなくて点検できないようなところがありまして、これは河川だけでなくほかの揚水式の発電とか、長い管路の垂直なところ、手すりとかもなくて見れない、もう少しそのような現場のニーズを把握しながらやっしていけば、まだまだこのようなロボット技術を使えるような場面があるのではないかとと思っております。

● スライド2

それで物理探査、これは堤防点検や調査とか、今一番内容を含めて話題になっているところでございますので、後ほどもこれは触れられると思います。

この空洞化調査ということでは、どのような場所で使われているかということをご紹介させていただきます。これは昨年実際にやった事例でございます。(スライド3) 左側の写真は、去年、野洲川のところで突然、高水敷が堤防法尻付近で陥没したという事例です。それで左上の写真を見ますと、何か昔からあるような形になっていますが、これは突然このような矩形の穴が空いたということでございます。ここは公園等で利用されておりました。かつて大蔵海岸の事故等もございましたので、同じようなことがあると河川管理の瑕疵にかかわるということがございまして、この一帯は面的に空洞化の探査をしまし、それを補足する上でポールとかを突き刺して緩みがないかを確認した事例でございます。それで、原因は何かと言うと、たまたま天保4年の地図がありまして、その古地図を見ますと、過去は川から引く水路が昔の堤防の下に木樋とか空いて抜いていた、そういうところが長い、長い時間、200年以上の時間をかけて大きな陥没ができたんだらうと。資料左下の写真の箇所を掘ってみますと、中からは流木とかが多く出てきました。近くにはこのような池のようなものがございまして、そのような長い期間を経て変状するのは、やっぱり人の目ではなかなか捉えられない。かつ空洞化が急激に起こる。この



ようなところでも空洞化の探査をしました。

右側の写真は桂川でございまして、これは除草等をしている業者の方々がこのような小さな陥没を見つけたと。やはり今、堤防の管理については非常に私どもも少しセンシティブ、と言うとおかしいんですが、相当、管理の水準を上げております。このときもこのような小さな陥没でございましてけれども、周辺に同じようなものがないかということで、空洞化探査で同じような緩みとかを探したということをやっております。

それで、今後のニーズということでひとつご紹介しますと、今年度から「点検結果の診断評価」ということが始まります。(スライド4) これは何かと言いますと、今まで点検ということをしておりましたが、その点検した結果、どのように判断して直すのかというのは、多くは現場の方に任せてあったところでございまして、やはりこれは川ごとに違いますし、直す、直せないの判断というところも、

● スライド3



● スライド4

**点検結果の評価区分**

区分	状態	支保 確認	補修 支保	措置
a	異常なし ・目視できる変状がない、または目視できる軽微な変状が確認されるが、構造物の機能に支障が生じていない状態	△		
b	要監視段階 ・目視できる変状(軽微な補修を必要とする変状を含む)が確認されるが、構造物の機能に支障は生じていない状態 ・進行する可能性のある変状が確認され、経過を監視する必要がある状態 ・目視点検では評価が困難であり、詳細調査を必要とする状態 <sup>※1</sup>	○ (注4)		
c	予防保全 段階 ・構造物の機能に支障は生じていないが、予防保全 <sup>※2</sup> の観点から措置を行うことが望ましい状態	○		○ <sup>※4</sup>
d	措置段階 ・構造物の機能に支障が生じている状態 ・措置 <sup>※3</sup> (補修又は更新)が必要な状態	○	○	○ <sup>※5</sup>

※1: 不可視部分や変状原因の究明が必要な場合など、目視点検では評価の必要性判断を含めた点検結果の評価が困難であり、詳細調査を必要とする状態  
 ※2: 腐蝕の機能に支障が生じる前に補修等の措置を行い、長期的な機能維持を経済的に行うこと  
 ※3: 河川管理施設の適切な維持管理が図られるよう、必要な対策を講ずること(軽微な補修は含まず)  
 ※4: 施設の変状の進行状況、損傷程度、代替性、経済性等を総合的に判断し、適切な処置を計画的に実施する。  
 ※5: 出水等において構造物の機能に支障が生じた場合は、速やかに応急対策を実施するとともに、速やかに補修等の措置を講じる

やはり急流河川と緩い河川では違うということがございます。しかしながら、やはりこれからは全国的にどのような変状がどこで多いのか、どれぐらいの期間で発生するのかということを、しっかり分析して評価していくためには一つの統一する物差しが必要だということで、このような「a、b、c、d」の4段階に分けて点検結果を評価するという形になっております。

それで今年度は護岸、堤防、樋門というところで始まっていくわけです。詳細はまたいろいろ細分化しておりますが、大きくこのような4段階があります。その中で、どうしても目視では分からないものがあるだろうと。そういうようなものを要監視段階の中の1つのところで、詳細調査するものをこのような経過観察として挙げております。このような詳細経過の中では、例えば護岸裏の空洞化でございますとか、例えば樋門もあるかもしれない。あるいは、抜け上がりとかもあるかもしれない。やはり目視だけでは判断できないものは詳細調査をしましょうということにしております。このような中でもこのような目視では分からない部分、下にございますが、不可視部分の調査とか、そういうところでも計測技術が必要になってくるような部分もあるであろうと考えているところでございます。

もうひとつ、「計測技術」ということでございますので、昨年、私どもで各現場に、「どういう計測技術が欲しいのか」というアンケートをかけました。

これはさまざまな点検や、出水時の監視等をしていきますが、やはり人員もなかなか少ない中、こういう技術があったらもっと助かるんじゃないかということで、現場のニーズを聞いたというものでございます。(スライド5、6)

それで、さまざまなニーズがありますが、1つ目の項目では「①空洞化の確認」ということで、今、現場がどのように感じているかと言いますと、やっぱり今のレーダ探査では確認できる深度が浅い、もう少し堤防の内部構造を見ようとするときにも、もう少し深いところまで必要、表層よりもう少し深いところで知りたい、というのが1点目。

それで2点目は、特に護岸について、今は空洞化等を見ております。どこかであったときに周辺の方をハンマーとかで叩いて空洞化が起きていないかどうかを見たりしております。それで中にはレーダ探査も使っているところですけども、やはりデコボコがあるところにはまだ少し乱れて適用できない、凹凸があるような護岸裏も見れるようにならないのかというようなニーズでございます。

3点目に、先ほどの桂川でございまして、他のところでも人が押ししたり引いたりするようなレーダ探査をやりましたけれども、やっぱり少し探査範囲が狭いのか、もう少し施工性と言いますか、作業性が高い機械等はないものかというものがございました。

それで4点目は、これは東北の意見だと思いますけれども、やはり小口径の樋管とか、樋門というの

● スライド5

**現場のニーズ** 5

- 平成25年12月に「河川法の一部を改正する法律(平成25年法律第35号)」が施行され、新たに河川管理施設や許可工作物を良好な状態に保つよう維持又は修繕することが義務づけられた。
- 河川管理者は、河道・堤防の異常等を把握するため、巡視報告を参照し、また、出水前、台風、出水後等に、主に目視による点検を実施し、点検結果を河川カルテによりまとめ、
- また、平成24年9月九州北部豪雨による矢部川の浸透による決壊を踏まえ、出水時における漏水等の監視の強化を図ることとしている。

● 河川事務所等に、堤防の維持管理に係るニーズについて、アンケートを実施したところ、点検等の高度化、効率化に関する35件のニーズが寄せられた。

**現場ニーズの概要**

- 現場のニーズは、①空洞化の確認(12件)、②堤体変状の確認(6件)、③出水時における漏水等の確認(6件)、④点検結果整理の省力化(3件)、⑤点検の補助・支援(7件)に関する技術開発に分類できた。

**①空洞化の確認**

- 現在のレーダ探査では、**確認できる深度が浅い**
- 現在のレーダ探査では、**凹凸のある護岸裏には適用できない**
- 法面を調査する際に用いる人力で移動する探査機器は、**調査範囲が狭く、施工性が悪い**
- **小径の樋管内の空洞化を確認できる計測機器がないか**
- 地震時に傾斜裏の堤体を亀裂を迅速に確認できる技術がないか

● スライド6

**②堤体変状の確認**

- モービルマッピングシステム(MMS)を用いて、変状の調査を実施しているが、**墓文の除去、モグウ穴等の確認の精度向上、経年的変化を把握できないか**
- イタダリの際等による堤防表面の積み等について、**リモートセンシングにより調査できないか**
- 新設堤防等が経年的に沈下しているが、**長期的に広範囲を安価に計測する技術がないか**

**③漏水等の確認**

- 平常時に、**堤体の漏水状況全面的に把握できないか**
- 出水時に、**漏水発生箇所を把握できる技術がないか**
- リモートセンシングにより、**堤内の傾斜角、堤防の変状を把握する技術がないか**

**④点検結果整理の省力化**

- ボーリング結果から、土質断面図等を作成しているが、**堤体・基礎の土質を簡単に調査する技術がないか**
- 河川巡視や点検時に撮影した写真を河川カルテと連携したり、**履歴を比較し状態監視に役立てる技術がないか**

**⑤点検の補助・支援**

- 堤防の点検を行うための除草を行っているが、**除草回数減少による植生不良、住民からの苦情が生じている。除草回数を減らすための芝に替わる品種改良、植生によらない堤防設置技術がないか**
- 簡易な植生の復旧工法、施工ヤードが確保できない中での**積みブロックの復旧工法の開発**
- 傾斜堤防における**除草機械の大型化**

がまだ残っています。そういうところへ行きますと、やはり樋門の空洞化と言われても連通試験をやりようにも入れないとか、そういうようなところがございいます。特に地震後のところでこのような緩みが生じていないかということが心配になったときに、そのような小さい断面の樋門や樋管についてもそのような空洞化を見ることができるような機械がないか、そのようなニーズもございました。

5点目も同じです。地震後に、舗装がないところは亀裂が分かりますが、舗装のあるところは舗装裏で亀裂が生じているかも分からない。そのようなところでは舗装裏を見る技術がないかというようなニーズもございました。

続きまして「②堤体の変状の確認」、今、堤防の点検ということを精力的にやっておりますが、やはりもう少し効率よくできないかということで、こちらについては後ほどモバイルマッピングシステム、「MMS」のことは触れさせていただきます。

それともう1つは、現場の方では表面の緩み、堤体全体のすべりまでには影響はしないかもしれないけど、やはり今の段階で降雨のときに表層のすべりというのがけっこう生じます。それで実際の出水になりますと、それが表層のすべりなのか、深いすべりなのか、なかなか見分けるのが難しいというところがございます。そのような現場の方では、やはり表層のすべりも止めたいということで、表面の緩み、そのような表面の緩みのようなものが分かるような技術がないか。これも「リモートセンシング」と書いてありますが、もっと広範囲に分かるものがないのかなという意見がありました。

次に「③漏水等の確認」、これは現在、矢部川の決壊等を踏まえて、出水時に漏水等の確認というのを精力的に行っております。そのようなことに対して、やはり平常時、かなり地下水位が高いとか、堤体が湿潤しているような堤防が把握できないか。それで、現在でも、膿んでいる堤防には間隙水圧計を入れているような堤防もございいますが、やはりそういうのは少ない。やはりそのような出水時に弱部



になるような場所を把握するような技術がないのかということです。

あとは漏水発生時に把握する技術とか、あるいは噴砂痕とかそういうのを、なかなか堤内側の農地まで入って行ったり、民地の方まで調査して全てを把握するのは難しい。そういうところを面的に把握する技術がないかということも、現場のニーズとして上がっております。

それで「④点検結果整理の省力化」は、堤防の質的整備というのをやっておりますけれども、そこを絞り込むという技術をやっております。やはりボーリングはピッチが粗いと。数k単位になってしまう場合もあるということがございますので、それらの間を補完するような簡易な技術がないか。これは今年水管理・国土保全局の治水課の中で、簡易な調査をしようということでのいろいろな試行をして、今現在も進めているところでございます。

それで最後、そのような巡視とか点検の結果を、しっかりと履歴とかデータベース化、それをもう少し簡易になるようなデータベース的な整理の仕方がないのか。昨年アンケートを取った結果、現場からそのような技術の要望が出ました。これに関して今現在、MMSで試行したり、技術開発公募ということを行っているところでございます。

その中の1つの事例としてMMS（移動計測車両システム Mobile Mapping System）」、こちらは多くの方々がお存じの内容であろうと思いますし、後ほどもっと詳しい説明がありますので、私の説明は省略しまして、昨年度やった結果はどうだったか、とい

うのを書いてあります。(スライド7、8)

それで平成26年度実施した結果、MMSの利点は何かと言いますと、やはり経時的な変化が把握できるということです。やはり目視ですとどうしてもそういった変化が分からない。1年おきとか、年に2回のところでは変化が捉えられない。しかしMMSであればそういう経時的な変化が捉えられる。それと4番目の測定データが残るといこととは一緒でございますが、見たデータの方が変化を捉えることができる。

もう1つは、目で変化を捉えるのが難しい面的な変化、緩みとか、範囲のはらみ出しとか、広域的に起こっている変化というのを捉えやすい、とこのようなメリットがございました。

まあ、いい点ばかりではなくて、現時点では難しい面というのは、不可視なところでございますとか、細かい変化とか、モグラ穴、と書いてあります。こ

れはどういうことかと言うと、どうしてもUAVとかLPのように上空から撮っているわけではない。堤防の天端から取りますと、斜めに出しますのでどうしても草の影響を受けてしまって、細かいものが取りづらいというのが昨年度の結果でした。

それを踏まえて、今年度はその全河川をこのように試行してまいります。MMSのそういった特徴をどのように活かしていくかというところで、1つは今年度は的を絞ろうということにしています。(スライド9、10)それで今年度の的の絞り方は、まず「①樋門・樋管等河川構造物点検への活用検討」として、樋門、樋管とか、構造物、先ほどあった抜け上がりでございませうとか、そのような構造物周辺のところの変化を捉えようというところでテーマを絞っております。

2つ目の「②軟弱地盤の堤防点検への活用検討」は、やはり軟弱地盤とか、施工直後のように時間的

● スライド7

～MMSによる管理技術の高度化・効率化～

従来から行われている堤防の目視点検に加え、レーザスキャナなどの新たな観測技術を活用することにより、堤防点検の効率化を図る。

新たな観測技術で迅速な点検  
モビルマッピングシステムによる管理技術の高度化・効率化  
目視点検の点検に比べて、MMSは点検範囲が広く、点検効率が高い。また、点検データをデジタルで残すことができる。

新たな観測技術による堤防点検  
レーザ、カメラ画像を併用することで、堤防の変状を確認。  
異なる時期に取得した点群データを重ねることにより、堤防の沈下等を定量的に把握。  
試験を踏まえたMMSの優位性  
従来の点検と比較して、「高精度な位置精度」、「定量的な変状分析」、「簡便な手法」で、比較的少ないコストで高精度の観測が可能。

● スライド9

ITによる戦略的維持管理  
～試行を踏まえたMMSの活用方針～

H26年度までの試行結果から、MMSを補完・高度化技術として活用することに方針を定め、H27年度は主に以下の4項目について試行を実施する予定

- 1 堤防点検の補完技術  
MMSの測定データにより、堤防天端の沈下、クラック、法面のはらみ出し等の測定を行い、堤防点検作業の補完を行う。
- 2 構造物周辺堤防の管理強化(抜け上がり量の把握)  
MMSの測定データにより、樋管等の抜け上がり量を計測し、詳細点検の必要性の判断等に活用可能を検討。
- 3 構造物点検への活用検討  
レーザ計測用のターゲットを門柱の上下に貼り付けて、MMSで座標を計測して門柱傾斜を測定。
- 4 出水時の危機管理(堤防堰高の把握)  
定期堰高測定では把握できない、堤防の最も低い箇所やその近隣の連続的な把握を行い、危機管理への応用を検討。

● スライド8

ITによる戦略的維持管理  
～MMSによる管理技術の高度化・効率化～

【平成26年度の試行結果】

〈活用できる点〉

- ・経時的な変化(沈下、はらみ出し等)の把握
- ・面的な変状の把握
- ・補修が必要となる程度の変状の把握
- ・測定データが数値で残る → 地盤沈下、災害の変状

〈現時点で活用できない点〉

- ・不可視部(ガードレール、看板、特殊堤等背面)の測定不能
- ・堤防天端以外の細かいクラックの判読が困難
- ・泥濘部の測定は困難
- ・モグラ等の穴の把握は困難
- ※除草の工程に測定が左右される

● スライド10

ITによる戦略的維持管理  
～MMSによる管理技術の高度化・効率化～

【平成27年度の実施方針】

- ① 樋門・樋管等河川構造物点検への活用検討(軟弱地盤関連含む)  
【内容】  
・樋門・樋管・水門等の構造物周辺の抜け上がりの観測  
・標的を設置しての変状(傾き、沈下等)の観測  
・構造物周辺の護岸などの関連施設からの変状の観測
- ② 軟弱地盤の堤防点検への活用検討(軟弱地盤関連含む)  
【内容】  
・堤防天端の変状把握(高さ不足、定規断面の計測)  
・軟弱地盤における、堤防形状の経年変化の把握  
・そのため、堤防除草以外の時期の計測精度の確認  
→ 草が生えにくい冬季の計測、雪解け後など測定精度が上がるように工夫
- ③ その他のMMSの活用  
【内容】  
・横断測量への活用(当面は堤防部)  
・巡視へのフィードバック、災害時における現況データの活用



な変化が生じているような堤防、そういうところに焦点を当てて使っていこうという形で考えております。

それから、「③その他のMMSの活用」は後ほど触れますが、やはり堤防の縦断形状を把握しようということとともに、データを取っておくということは非常に今後の災害時の状況で、なぜこの堤防が被災したのかというのを見るときに貴重なデータになるだろうということです。特に東北地方整備局は全川MMSで堤防の断面形状を記録したいということで、各河川でMMSの特徴を生かして計測を進めているという形でございます。

あとは最後に2つほど話題でございます。

まず、そのような計測技術ということで、これは平成25年度の台風18号で、桂川の出水のときです。(スライド11) 実際に久我橋の下流の方で越水しましたが、当時はどこから越水して、どこが溢れるかというのが分からなかった。当時はあと何cmなら越水が始まるのかというのを非常に心配していて、さまざまな検討をしたところでした。これには結果が書いております。(スライド12) これは何かと言うと、●は200mピッチの横断測量結果のところを書いています。それで、この一番上の実線は何かと言うと、これはLPから堤防の天端の高さを出したものです。どこから溢れたかと言うと、一部こういう横断測量の間になっている、このように低くなっているところから溢れ始めたということでございます。

今段階で私たちのところでは、やはりどう市町村

さんに情報を段階的に出していくか。この先どうなって、何が起こるかというのが非常に大事になってまいります。そのような中では、やはりこのようなLPデータというもので堤防の高さを評価するのがひとつ、非常に有効であるということです。

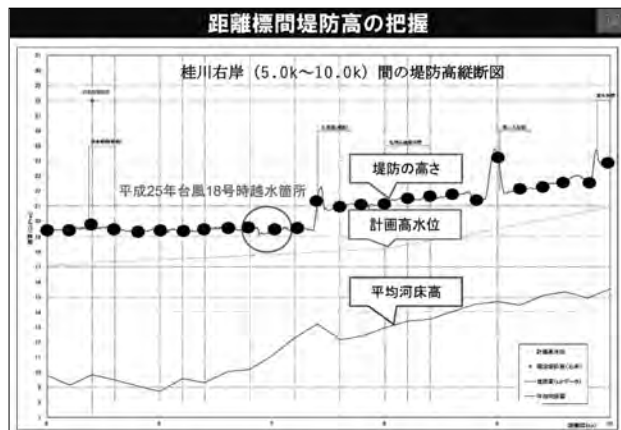
それで私が皆さんにお願いをしたいのは何かと言うと、やはりこのように細かいデータが取れるようになってきますと、私たちの水位の方も水位の観測所だけで予測や把握をしていますけれども、やはりこういうところが出水時に水位がどのように変化していくか、そこまで予測するような、あわせてそのような水理的な技術と一体となって計測したものを合わせることができれば、非常に危機管理上も有効になってくる。まさしくこのところが弱部であれば、そのようなところは水防対策をやって、必要な土のうなのか、新しい水防工法とか、そのようなことを活用できるという形なので、やはり計測技術と、水位の解析・予測技術を組み合わせることによって維持管理、あるいは危機管理もレベルアップしていけるんだろうなと思っております。

次に、矢部川が基盤漏水で決壊しましたが、基盤漏水で決壊する事例というのは少ないというような状況でございますが、実際に毎年、各所で漏水そのものは発生しております。水防団が水防活動をして破堤を未然に食い止めているという状況でございますけれども、やはり水防団も高齢化しているという問題がございまして、やはり漏水の監視、基盤漏水

● スライド11



● スライド12



を防ぐということも非常に大事なテーマとなっております。(スライド13)

そのような中で、今の段階で私たちが出水時にやっているのは何かと言うと、このグラフは河川の距離表を書いております、計画高水位のところを青い線になっています。これは平均漏水勾配を赤い○印で置いておりますが、どのような水位になったら平均漏水勾配が0.2になるかということプロットしてございまして、計画高水位に達するまでに平均漏水勾配が0.2になるように達するところ、こういうところが危険じゃないかという仮説を立てております。そういうところは今現在、河川の水位が上がってくると現場の人、あるいは巡視の方々が現地を確認しに行くということをやっております。(スライド14)

こちらの方も一昨日森さんが行っておりましたが、このように人が見に行っているところも、もう少しさまざまな堤防の研究が進んで、こういう危ないところがもう少し絞り込めれば、そのような変状のところに事前にセンサ等を設置することによって、もう少し「点検はこのタイミングで行く」とい

うことがもっと明確になって、管理の水準も上がるのではないかと、そのような話をしているところでございます。

このように計測技術のところ先ほどありましたように、やはり今やっていることをただ置きかえると言うよりは、これから維持管理の何に重点を置いて絞り込んでいくか、そのためにどういう計測技術があればいいのかという点で絞り込んでいくことで、ニーズと技術開発の方向性がマッチして進めていければなという形で、今考えているところでございます。

私の持ち時間、ちょうど30分まででしたので、私からの最初の話提供は終わらせていただきます。どうもありがとうございました。(拍手)

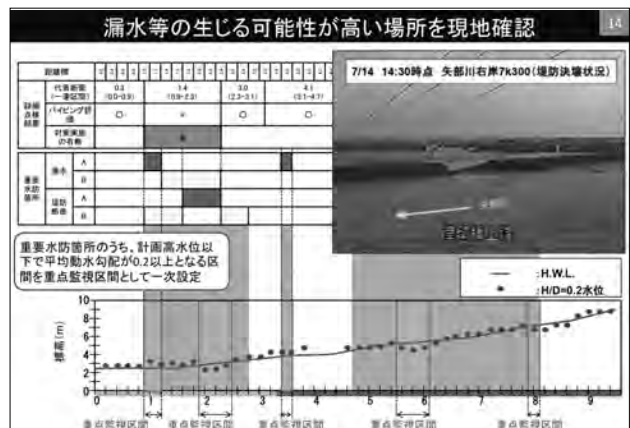
安原 ありがとうございます。非常に現場において計測技術に対して高いニーズがあるということで、いろいろなことにチャレンジされているということがよく分かったかと思えます。

それでは続きまして最近の技術開発、あるいは研究開発の動向ということで、国土技術総合研究所の杉原研究官からご発表をお願いいたします。

● スライド13



● スライド14



# 河川構造物の点検・診断技術に関する国総研の取組

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  
杉原直樹

杉原 先ほど自己紹介しました国総研の杉原と申します。私は平成25年4月から今の役職についておりまして、それまではずっと行政にいたものですから、研究所というのは今回初めてなんですけれども、その後、いろいろな新しい技術開発の委員会の現場とか、あるいは研究の場に立ち合わせていただいておりますので、そういうような経験をしたところを踏まえてちょっとご紹介をさせていただきたいと思っておりますので、少々お付き合いをよろしくお願ひします。

まず、つくばの方の河川構造物の管理の研究とどうか、技術相談とかをする場合の体制について簡単にご紹介させていただきたいと思ひます。ご存じのとおり、河川構造物というのはいろいろな種類のものでございます。そういう中で、研究を行う研究室、チームも多岐にわたっておりまして、機械設備もあれば、あるいは材料として鋼材とかコンクリート、地形や地質の話もござひます。さらに当然、水位の話、あるいは構造物がどういふ変状をするか、耐震とかそういうのもござひます。

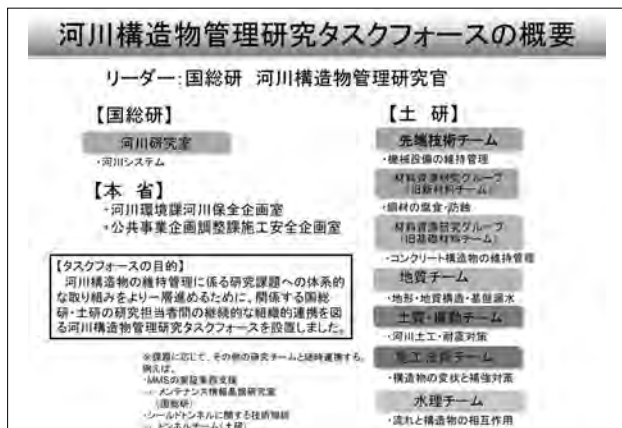
そういう中で平成24年4月から「河川構造物管理研究タスクフォース」という組織をつくば地区で設

置してござひます。これは国総研と土研とそれぞれで関係する研究室やチームが連携して対応していくということござひます。それで一応、基本的なチームはこうなんですけど、課題に応じていろいろとそれ以外の研究室にも声をかけながら、いろいろな現場の課題に対応しているというような状況でござひます。地方公共団体などからご相談をいただきますと、こういう体制で対応させていただいているということござひます。(スライド1)

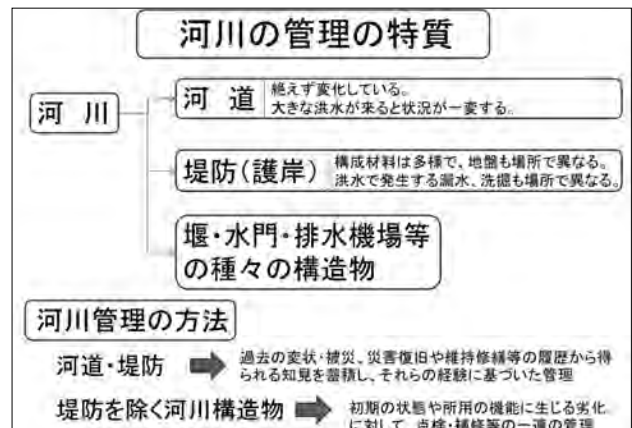
それで河川の管理ということござひますが、これは皆さんご存じのとおり、河道、堤防等と堰、水門等の機械もものがあり、施設の特質に応じて管理の仕方も違っているということござひます。ですが、やはり何と言っても河川の危機管理と申すか、管理の一番重要なものは堤防の管理でござひますので、その辺りのことを頭に置きながら少し今後の話をしていきたいと思ひてござひます。

堤防を除く河川構造物でもやはり土の上、地盤の上に乗っかっている、あるいは流れの影響を受ける、ということござひます。したがって、その挙動は地盤、流れの影響を含めて解析すべきですが、全川にわたって全て解析的に評価できるということでは

● スライド1



● スライド2



ございませんので、やはりどうしても状態を把握して、それを適切に状況判断していくということが今後においても非常に重要なことになってくるのかなというように私としては思っております。(スライド2)

そういう中で、皆さんご存じのとおり、人手がだんだん減ってきている。あるいは、経験豊富な職員の方々も減ってきている。あるいは、財政も厳しいということになりますと、より効率的で効果的な点検、それと今まで経験でやってきたようなところの判断、これをもっと的確に、合理的にやっていくということが必要になってくるんじゃないかなということでございます。

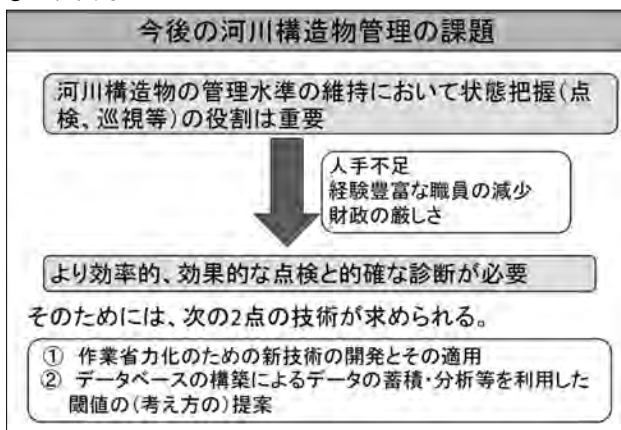
そうしますと、今後必要になってくる技術としましては、やはり作業省力化のための新技術、先ほど時岡企画専門官のお話がありましたように、ああいう機械、ロボットですとか、あるいはいろいろなレーザー技術、画像解析技術、そういうものを使ってできるだけ効率的に状況を押さえていくという話、それを解析していくという話。それと、あとはそういう得られたデータをできるだけ機械的にどんどん蓄積して行って、先輩の方々が持ってこられた今までの経験というものをそういうデータの中に蓄積していくと。そういうのをうまく解析して行って今後の点検の、例えば重点箇所はどこだろうとか、あるいはこの変状は本当に大丈夫なんだろうとか、そういう時の判断に使っていただけるのではないかなという



ことでございます。そういうところを今後しっかりと詰めていくと言うか、固めていくことが必要かなというように考えてございます。(スライド3)

これについては先ほどご紹介したタスクフォースのメンバーでございます土研でやっていただいている研究ということですが、いわゆる国交省水管理・国土保全局で「河川砂防技術研究開発公募」という制度がありまして、「堤防及び河川構造物の総合的な点検・診断技術の実用化に関する研究開発」という課題を設定して、それを土研さんを中心にして今研究していただいています。これについては河川構造物としての機能低下につながる変状の発生メカニズムと進行過程を明確にしていきたいと思います。これにてございまして、要はそこに書いてございすように、「真に危険となる変状形態」、いわゆる致命的な変状というのはどれなのか、それをまずしっかりと押さえることが必要ではないか、ということ

● スライド3



● スライド4

で、それをできるだけ明文化していこうという話と、あとは、そういったものを把握していくのに物理探査等の非破壊検査、なかなか内部構造が分からないというのが大きな課題でございまして、そういうところを使えるようにならないかということで研究を開始すると。その成果として、点検箇所や要対策箇所を適切に絞り込んで維持管理の合理化につなげるということをしていくということで、これは平成25年度から3年間ということで研究をやっていたところでございます。(スライド4)

これは体制でございまして、これは3つの項目がございまして。(スライド5)「構造物周辺の空洞化」ということで、これは土研の土質・振動チームがメインです。あとは「コンクリート部材」は、昨年度までの基礎素材チームで、「鋼材」が昨年度までの新材料チームということで、それぞれ大学の先生ですとか、あるいは物探学会等と連携しながら来年度

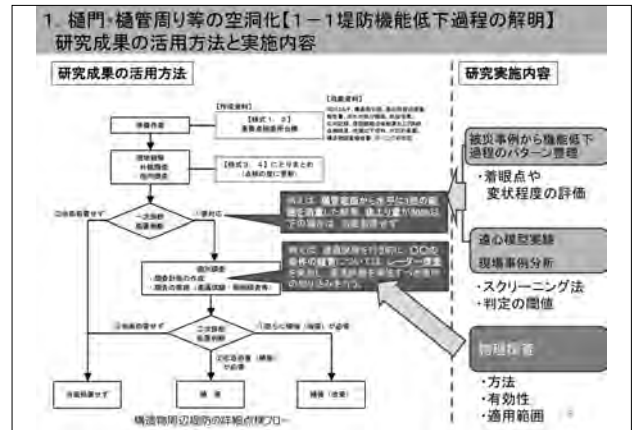
● スライド5

研究の実施体制			
<b>構造物周辺の空洞化</b> 空洞化が堤防機能に与える影響【佐々木、石原、吉田】 非破壊検査技術の適用性【佐々木、石原、吉田】 <b>コンクリート部材</b> 致命傷に繋がる劣化状況の明確化【渡辺、片平、古賀】 非破壊検査技術のレビュー・標準化【齋藤、三木、鈴木】 <b>鋼材</b> 致命傷に繋がる劣化状況の明確化【お浦(健全度評価)、西崎(劣化)】 非破壊検査技術のレビュー【富山】	氏名	所属・役職	研究分野内容
	佐々木 哲也	土研 土木研究所・上席研究員	全体取りまとめ
	石原 智規	土研 土木研究所・主任研究員	構造物周辺防振補修工種別調査分析、構空実験
	吉田 直人	土研 土木研究所・研究員	構空実験
	佐々木 哲也	物探学会委員(東北大)	ひびによる空洞化の発生メカニズムに関する研究
	高橋 一徳	物探学会委員(東北大)	高橋法による高透水ゾーン抽出技術の研究
	佐々木 哲也	物探学会委員(東北大)	高橋法による高透水ゾーン抽出技術の研究
	高井 洋雄	物探学会委員(東北大)	高橋法による高透水ゾーン抽出技術の研究
	渡辺 謙子	物探学会委員(東北大)	高橋法による高透水ゾーン抽出技術の研究
	北・高穂	物探学会委員(東北大)	高橋法による高透水ゾーン抽出技術の研究
	渡辺 謙志	土研 土木研究所・上席研究員	コンクリート構造物の健全度評価技術の開発
	片平 博	土研 土木研究所・主任研究員	コンクリート構造物の健全度評価技術の開発
	古賀 祝久	土研 土木研究所・主任研究員	コンクリート構造物の健全度評価技術の開発
	齋藤 智樹	物探学会委員	コンクリート内部欠陥の非破壊検査技術の開発
	三木 直	物探学会委員	コンクリート内部欠陥の非破壊検査技術の開発
	鈴木 敏一	物探学会委員	コンクリート内部欠陥の非破壊検査技術の開発
	西崎 剛	土研 土木研究所・上席研究員	鋼材の劣化状況の明確化
	お浦 伸二	土研 土木研究所・主任研究員	鋼材の劣化状況の明確化
	富山 純一	土研 土木研究所・主任研究員	鋼材の劣化状況の明確化
	村瀬 雅也	京都大学	鋼材の劣化状況の明確化

のとりまとめに向けて研究を進めてもらっているところでございます。(スライド6)

まず構造物周辺の空洞化の話でございまして、ちょっと中を簡単にご紹介させていただきますと、空洞化に関してはこういう詳細点検のフローがございまして。(スライド7) そういう中で一次診断の際の「閾値はどうしていきますか」というところに活かしていくというようなことで考えているということでございます。例えば、空洞化、抜け上がりの話なんかをしますと、こういう遠心载荷試験装置で実験してみたところ、(スライド8) 下の方の土質が粘土か砂質土かで表面上の抜け上がりがあっても実は下の空洞化はできていなかったというようなことがどうもあるようございまして、いろいろとそういう状況をいかに整理して評価していくかということが今後また課題になっていくかなというように聞いております。

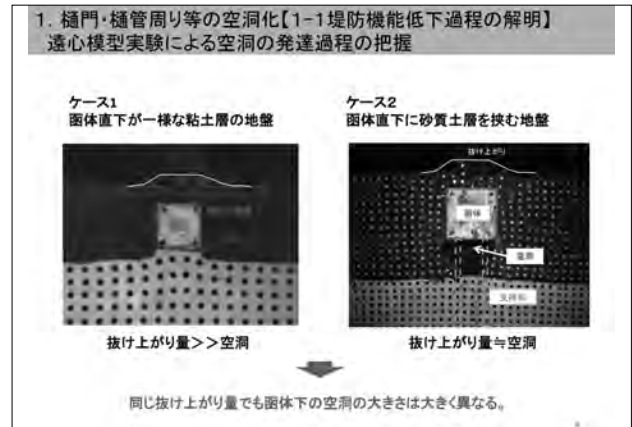
● スライド7



● スライド6

研究計画(研究目標とその達成時期)			
項目	25年度	26年度	27年度
(1) 樋門・樋管等に関する堤防機能低下過程の解明と非破壊検査技術の適用性の明確化 (1-1) 空洞化に関する堤防機能低下過程の解明 (1-2) GPR空洞検出技術の研究開発 (1-3) 高橋法による高透水ゾーン抽出技術の研究開発 (1-4) 遠方表面探査技術の研究開発	点検結果の整理 3D/GPR適用性 旧川マッピング 開発・標準化	模型実験等 電磁特性 高透水マッピング	模型・とりまとめ GPR実験、標準化 とりまとめ
(2) 樋門・樋管のコンクリート部材の致命傷に繋がる劣化状況の明確化と既存非破壊検査技術の適用性の把握 (2-1) 致命傷に繋がる劣化状況の明確化 (2-2) 既存非破壊検査技術の適用性の把握	データ整理 適用性把握	データ分析 基礎実験・とりまとめ	とりまとめ
(3) 樋門・樋管と矢板護岸等の鋼材の致命傷に繋がる劣化状況の明確化と既存非破壊検査技術の適用性の把握 (3-1) 致命傷に繋がる劣化状況の明確化 (3-2) 既存非破壊検査技術の適用性の把握	既設劣化事例 非破壊検査技術	劣化要因・深刻度 適用性検討	とりまとめ とりまとめ

● スライド8



それとコンクリートの関係でいきますと、樋管の函体のクラック、これをどう評価するかということなんですが、(スライド9)これについては書いてありますように、なぜそういうクラックが発生したかをまずは考えて、それに応じて、同じようなクラックであっても対策や考え方が違ってくるということのでございます。その辺を整理して行って、危ないものはどれかというのを見つけていくと。

あとは鋼矢板の方でございますが、(スライド10)こちらは港湾等ではかなり研究がなされておりますが、どうも淡水域、汽水域のこういう鋼部材の腐食状況というのはこれまであまり明確には研究がされてこなかったところでございますので、とりあえずこういう現場の状況などの知見を蓄積して行って、今のところグレードⅠ、Ⅱ、Ⅲと分ける整理をしていると聞いております。まず目視点検ということで判断ができる、通常の点検はまず目視点検からやり

ますので、そこで分かるような評価というものをしていくということでございます。

続きまして、点検の効率化ということでいきますと、先ほど時岡専門官から話がありましたが、現在、国土交通省は政府としてのIT国家創造宣言などを踏まえて、いろいろロボット技術とかをどんどん使っていくまいというところでございます。今、私の知っている範囲で大きく3つぐらいの話がございます。(スライド11)次世代社会インフラ用ロボットの開発・導入という話と、モニタリング技術の活用、あるいはNETISを使った技術開発ということでございます。

社会インフラ用ロボットの開発・導入に関して言いますと、ここに書いてありますように重点分野を5つ設けております。(スライド12、13)それで河川でいきますと、河川及びダムの中観測と。いわゆる、ダムの非常に深いところにあるゲートの変状をいかに捉えるかという話。これはなかなか人が行きにくいところなので、そのようなところでロボットを使えないかという話と、あとは、ダムの底の土砂の形状、これを把握できないかという話。それと、ちょっと先ほどもお話をしましたが、河川の水中の護岸、これなんか例えば災害が起こったときに根固めが洗われて、施設が壊れたときにいち早くそれを把握して何か手当てできないかというようなことをやっております。

● スライド9

**2 コンクリート部材の劣化【2-1致命傷に繋がる劣化状況】**  
事例に見る函体のひび割れパターン

例えば、函体では、輪切り状のひび割れが発見されることが多い  
一ひび割れパターンから、重要性を判断

発生される主要原因	温度変化・乾燥収縮	不均次下
パターン	下図①	下図②
特徴	側壁や頂面に生じる 輪切り状に生じる ひび割れ間隔は数m以上の場合が多い	主に側壁に生じる 一部斜めに進展 ひび割れ間隔は1m程度の場合が多い
留意点	コンクリート部材中の鉄筋が露出しな ければ、構造的な影響はほとんどない。	下下が大きい場合は、当体周囲の 空気化等の腐蝕防蝕に注意が必要。

①温度変化・乾燥収縮によるひび割れ  
②鉄筋に沿った露出によるひび割れ  
③収縮の影響が考えられるひび割れ  
④不均低下によるひび割れ  
⑤コンドジョイント  
⑥乾燥収縮等が考えられるひび割れ  
⑦アスファルトとの界面に生じるひび割れ  
⑧ASR、乾燥収縮等によるひび割れ

函体に生じるひび割れの類型化(検討中)

● スライド10

**3 樋門・樋管と矢板護岸等の鋼材【3-2非破壊検査】**  
腐食・劣化状況の調査・把握

鋼矢板・矢板護岸の変状

外観劣化のグレード

劣化タイプ	劣化状況	劣化状況	劣化状況
腐食	全面に露出	全面に露出	全面に露出
	一部に露出	一部に露出	一部に露出
	一部に露出	一部に露出	一部に露出
漏水	漏水	漏水	漏水
	漏水	漏水	漏水
	漏水	漏水	漏水
変形	変形	変形	変形
	変形	変形	変形
	変形	変形	変形

● スライド11

**河川構造物管理の最近の動き**

◎新技術導入の取り組み

センサー、ロボット、非破壊検査等の技術も活用することにより、社会インフラの実態を正確に把握・蓄積し、それらを活用することにより、社会インフラを安全により長く利用できることにつなげ、世界で最も安全で経済的な社会インフラを実現する。

(世界最先端IT国家創造宣言(平成25年8月14日 閣議決定)より抜粋)

1. 次世代社会インフラ用ロボット開発・導入
2. 社会インフラのモニタリング技術活用
3. 新技術情報提供システム(NETIS)を活用した老朽化対策に資する点検等技術の公募等

昨年度は1回評価をしてございます。ダムに関する技術は宮ヶ瀬ダムで実証実験をされており、河川は多摩川でされており。それで宮ヶ瀬ダムでやったときには、宮ヶ瀬ダムは非常に濁度が低い、濁りの少ないきれいなダムでございまして、変状を撮るのはカメラを使って撮るのがほとんどだったんですが、きれいに鮮明に撮れていたということでございまして、ある程度はそのまま使えるのかなというような評価になっていたかと思います。

それと、河川の方は、やっぱりなかなか流れの中でうまく捉えるというのは難しかったかなということとございまして、そこら辺がもうちょっと工夫が要るかなという感じだったかと覚えております。

モニタリング技術でございまして、これにつきましては先ほどのロボットの話は点検ということで一時的な話ですが、これはモニタリングで継続的に状態を捉えていくということでございまして、これも土木と言うか、建設関係分野でいきますと、橋梁分野、のり面・斜面分野、河川堤防分野ということで、河川堤防が入ってございまして。(スライド14、15) そちらについてはこういう堤体の外観を捉えるという話。あるいは、出水時の漏水、侵食の変状を捉えられないかという話と。あとは維持管理の高度・効率化に係るモニタリングシステムということで、これはそういう現象とは別に、もっと効率的に施設を観測していくということができないかというような点で、やはり技術を公募しましてやっておるとい



こととございまして。

大体やっぱり形状を押さえるのはカメラを使ってやるんですけども、例えば「テーマ①：堤体等の外観の変状の把握に係るモニタリングシステムの現場実証」ですが、これについては除草機械にカメラ、あるいはレーザをつけて、草を刈りながら刈った後を測っていくみたいな、そういうことの提案があったりとかございまして、いろいろと現場状況に応じてそういう新しい技術が使えるようになっていけばいいのかなというように思っているところでございまして。

あとは、NETISなんかも昨年度、一昨年度あたりからこういうコンクリートのひび割れを遠方から見るとか、あるいは新素材でものを接着していくようなこともいろいろ技術開発の公募をしているということとございまして。(スライド16)

さらに、河川維持管理のをデータを集めてデータベースをつくって、それを蓄積、分析していくとい

● スライド12

**河川構造物管理の最近の動き**

**1. 次世代社会インフラ用ロボット開発・導入**

◎取組概要  
社会インフラの現場に役立つロボットの開発・導入を促進する取組。(ポイント)  
・民間企業や大学等の優れた知恵や工夫を活用(公募&コンペティション)  
・実際の維持管理又は災害の現場検証を通して、開発と活用を促進(現場主義)  
・活用及び普及までを見据え、公募・現場検証・評価を実施(出口戦略)

◎重点分野  
次世代社会インフラ用ロボット開発・導入重点分野(平成24年12月25日 国土交通省・経済産業省)  
国土交通省と経済産業省において、重点的に開発支援する分野を特定(平成24年度から開発支援)

(1)維持管理	(2)災害対応
<ul style="list-style-type: none"> <li>○橋梁           <ul style="list-style-type: none"> <li>-点検業務の代替ができる設備</li> <li>-点検業務の代替ができる設備</li> <li>-点検業務の代替ができる設備</li> </ul> </li> <li>○トンネル           <ul style="list-style-type: none"> <li>-点検業務の代替ができる設備</li> <li>-点検業務の代替ができる設備</li> <li>-点検業務の代替ができる設備</li> </ul> </li> <li>○河川及びダムの中河川部           <ul style="list-style-type: none"> <li>-点検業務の代替ができる設備</li> <li>-点検業務の代替ができる設備</li> <li>-点検業務の代替ができる設備</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○災害状況把握           <ul style="list-style-type: none"> <li>-点検業務の代替ができる設備</li> <li>-点検業務の代替ができる設備</li> <li>-点検業務の代替ができる設備</li> </ul> </li> <li>○応急対応           <ul style="list-style-type: none"> <li>-点検業務の代替ができる設備</li> <li>-点検業務の代替ができる設備</li> <li>-点検業務の代替ができる設備</li> </ul> </li> </ul>

● スライド13

**河川構造物管理の最近の動き**

◎水中維持管理技術の公募内容

[1]ダムにおいて、ゲート設備の「腐食、損傷、変形」、堤体等のコンクリート構造物の「損傷等」及び洪水吐き水叩き部の「洗掘等」について潜水士による近接目視の代替または支援ができる技術・システム

[2]ダムの貯水池において、堆砂等の「堆積物の状況」について全体像が効率的に把握出来る技術・システム

[3]河床の「洗掘等」について、全体像が効率的に把握できる技術・システム。また、河川護岸において、「コンクリート部の損傷、うき・剥離・剥落、豆板や、コールドジョイント部のうき・剥離・剥落等」について、潜水士による近接目視の代替または支援ができる技術・システム

◎決定した現場検証対象技術

水中維持管理(内訳)	21件・14者
ダムの近接目視の代替又は支援	12件・12者
ダムの堆積物の状況の把握	6件・6者
河川の近接目視の代替または支援	3件・3者



うことで、こちらは今、各事務所でいろいろと現場でタブレットを使って巡視・点検のデータを入れて、それを整備局のサーバーに溜めていくという維持管理データベースが動き始めたということでございます。(スライド17) こういうのがさらにだんだんとデータが蓄積されてくれば、いろいろな先ほど言いましたような分析とか評価に使っていただけるのではないかと思います。

ただ、今のいろいろな技術が一般公募されている評価されているんですが、やはり現場のニーズとか状態を開発される方にもよく理解していただき、それを使っていく側としては、やはりどういう目的で、どういう技術を使っていくのか、ということをもっと明確にしていくということが必要なかなというように思っております。そこを明確にすることで、その技術に求められる精度や今までと違った効率的な運用方法などが発想されるのではないかと

と。新技術を活かすには、使う側が新技術を取り入れる環境を整えていく必要もあるのかなと思っております。

先ほどのロボット技術の関係もいろいろと実証してみると、それは精査用の機械なのか、あるいは概査用か、いわゆるざっくり何か変状を全体的に押さえて、このあたりが危ないよというのが分かって、それを実際に見るのは潜水士さんが潜ってよく見ると。ただし、場所を押さえるだけでもかなり効率的になりますよというのか、あるいはもっと細かいクランクまで見るのかと。そこらあたりの目的と技術というのをうまくマッチングさせるということが必要なかなと思っております。そういうような形で、先ほど申し上げましたように、やはり効率的、効果的に点検をしていくという話、そしてそれをしっかりと診断していくということがやはりこれから非常に重要になってくるのかなと思っておりますの

● スライド14

### 河川構造物管理の最近の動き

**2. 社会インフラのモニタリング技術活用**

◎意義・目標

- ・維持管理に関わるニーズと技術開発のシーズとのマッチングを重視し、新しい技術を現場で使える形で展開し、予防保全による維持管理水準の向上を低コストで実現させる。
- ・国内のインフラを高い維持管理水準に維持するだけでなく、魅力ある継続的な維持管理市場を創造するとともに、海外展開の礎を築く。
- ・社会インフラの維持管理に役立つモニタリング技術に着目し、実用化に向けた現場実証や維持管理業務への適用に必要な技術的検証を行なう。

◎対象技術

<モニタリング技術>

- ・構造物等の状況を常時もしくは複数回(常時/定期/不定期、最低2時点)で計測し、状態の変化を客観的に把握する技術

◎モニタリングシステムの現場実証における対象分野

- ・橋梁分野
- ・のり面・斜面分野
- ・河川堤防分野

● スライド16

### 河川構造物管理の最近の動き

**3. 新技術情報提供システム(NETIS)を活用した老朽化対策に資する点検等技術の公募**

◎老朽化対策に資する点検等技術の公募

- ・新技術情報提供システム(NETIS)を活用し、既に実用化段階にある技術を公募し、応募された技術のうち、活用効果が高いと思われるものについては、国土交通省の事業・実現場等において活用し、その機能・性能などを確認・評価する。本評価結果については、NETIS維持管理支援サイトにて公表する。

[平成25年度公募した点検等技術]

- ①コンクリートのひび割れを遠方より検出できる技術
- ②目視困難な水中部にある鋼構造物の腐食や損傷等を非破壊・微破壊で検出可能な技術

[平成26年度公募した点検等技術]

- ①上塗り塗装施工したままで可能な溶接部の亀裂、劣化調査技術
- ②新素材繊維接着工(コンクリートの剥落対策技術)

● スライド15

### 河川構造物管理の最近の動き

◎河川堤防分野における現場実証のテーマ

**テーマ①: 堤体等の外観の変状の把握に係るモニタリングシステムの現場実証**  
堤体等の外観の変状を把握するために必要なデータを取得、収集・伝送、分析するモニタリングシステムの現場実証

**テーマ②: 漏水、浸食等の出水時における変状発生に係るモニタリングシステムの現場実証**  
漏水、浸食等の出水時における変状発生を把握するために必要なデータを取得、収集・伝送、分析するモニタリングシステムの現場実証

**テーマ③: 維持管理の高度化・効率化に係るモニタリングシステムの現場実証**  
河川堤防等の状況の変化をモニタリング技術によって定量的に把握することにより、現状において十分な対応ができていないが、維持管理を高度化・効率化することが期待されていることを実現することを目的とする。なお、具体的な達成事項は、申請者が提案する。

● スライド17

### 河川構造物管理の最近の動き

◎河川維持管理のICT化

河道及び河川構造物に生じた変状・被災の履歴、それらに対する維持修繕の記録は、管理技術の継承や点検等の基準化、維持管理計画や長寿命化計画の検討にとって、極めて重要な基礎資料であり、データベース化を進める。



で、いずれそういうような技術が進めばいいかなと  
いうように思っています。

以上でございます。ありがとうございました。



# 計測技術の活用による状態把握実務の展開（前半）

（公財）河川財団 河川総合研究所 戦略的維持管理研究所長  
安原 達

安原 ここからは、これまでご講演いただきました内容から河川財団として流れを作りご説明をさせていただきたいと思いますが、まず、私の方でその導入をさせていただきます。

今のご発表でさまざまな技術があり、試行がなされているということがよくわかりになったと思います。しかしながら、最後の問題提起にもありましたように、本当にどれを使うのか、全て使うことができればそれは素晴らしいことではありますが、試行であるからできるわけでありまして、その全てをやるのは予算的に困難です。そうすると、「本当に必要なものはどれなんだ」ということを考えていかなければならないということです。そうすると、遡りますと先ほどお話がありましたように、河川管理として何が知りたいのかということを確認しないと、その技術の有効性の判断はできないということとして、河川の維持管理というものは一体どういうものなのかということを整理しているわけでございます。

こちらのセミナーの対象範囲ということで図を示させていただきました。（スライド1）恐らく現場では点検をしまして、または河川巡視をします。それが「一次点検」と呼ばれたりするもので、何か危



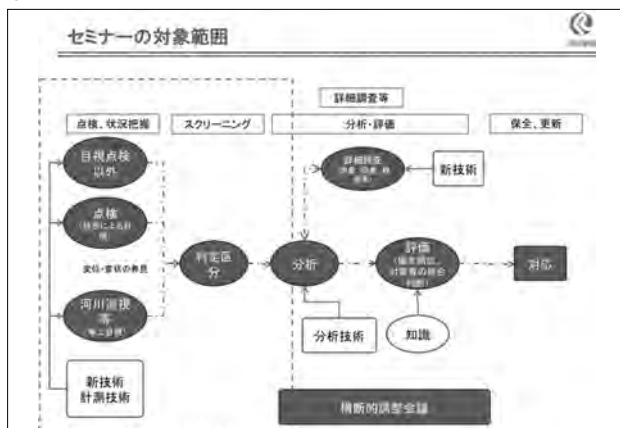
ないぞということになったら詳細点検、詳細調査してより深く調べる、という過程になると思います。

本日は、「状態把握」としていますと、この分析・評価の手前までが状態把握なのかもしれませんが、その1つ手前の、点検とか河川巡視によって変状を把握することにターゲットを絞ってやっていくということと考えております。

それで、今までは目視による点検、河川巡視による目視の情報から何かが動き出していくというこういうサイクルだったわけですが、今までのご発表にあったように目視点検以外のものを使って変状を把握する、この辺りをどうすればいいのかということに絞って議論したいということでございます。

それで続いてPDCAサイクルについての問題提起ということでございまして、砂防基準を読みますと、ちゃんと点検をして始めなさい、とこのように書いてあって、これは非常に大事なことだと思います。（スライド2）しかし、点検に始まって点検に終わるということだと大事なことを見失ってしまうんじゃないかという問題提起でありまして、では河川の維持管理というのとは何かと言うと、いろいろと突き詰めていくと、維持管理と言うのは物が壊れる過程にどう付き合うかということではないかと思いません。ただ、物の壊れ方と言うと、河川の場合には河

## ● スライド1



道を「壊れ方」と言うと非常にアレルギー反応があるので、河道の場合には「望ましくない状態」となります。時間が経っていくと、壊れるか、それから望ましくない状態にどんどん進行していくということに対して、それをどのようにコントロールしていくのか。それでどういう状態を許容できるのか、できないのかということを考えてやっていく。それを計画を立てて、この程度なら壊れてもいいよということを計画に立てる。それで実際に運用してみると壊れることもあるので、許容できない水準になったら元に戻していくということ。その元に戻すかどうかのジャッジをするという、その過程が「状態把握」になってくる。ということがPDCAサイクルなのであって、点検して点検に終わるのではなく、物の壊れ方をどのようにコントロールするかということがPDCAサイクルの考え方として必要だ、ということを考えております。

そうしますと、その中心に据えられるのは、「ではどの程度壊れているのか」、言い換えれば機能を保持しなさいということであれば、「機能がどの程度下がるのか」。その機能を中心にして、数字であらわしたり、表現したり、そういうことでPDCAサイクルを回していく必要があるのではないかと、このように考えております。

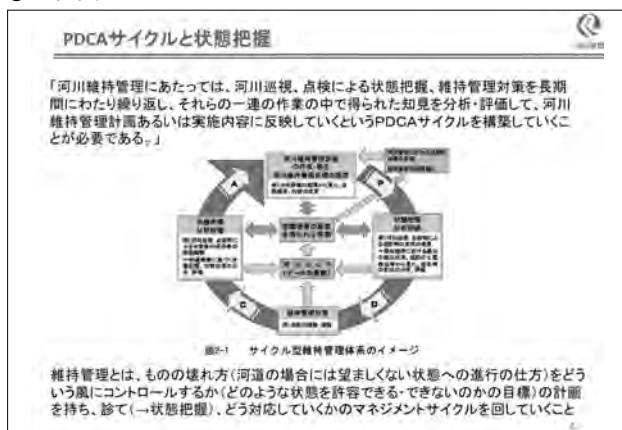
それで河川の整備というのはまだ完成しておりませんので、橋梁とかトンネルのように全てを作って供用しておりません。古く明治時代から少しずつ一

期改修、二期改修ということでも少しずついろいろな能力が上がってきて、流下能力を中心に能力アップしてきたということで、堤防については今、質が高められておりますが、それが時間を追うごとに、または洪水があるごとにどんどん下がっていくわけですが、これを下げないようにするということが維持管理の中で大事になってくる。(スライド3)

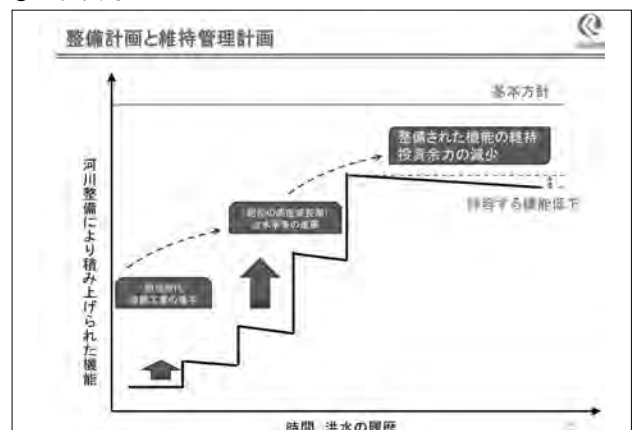
それで河川の場合に特徴的なのは、非常に長い時間スケールで機能が下がるようなものがあるとか、河道の場合には下がるばかりではなく上がったたりする場合もある。それは構造物もそうかもしれませんが、砂州のつき方とか、水当たりの位置が変わることによって、水当たりが新たに起きるところは「機能が下がる」と言うように表現されるでしょうし、水当たりが防がれたところは「機能が上がる」と評価されるかもしれないというようなことで、非常にこれは単調に下がるというような捉え方がなかなかできないということがひとつの難しさで、それを如何に表現して、これが下がらない、または許容する範囲に収まるようにしていくのかということが維持管理ではないかと、このように思います。

そうすると、どこまで壊れることを許容するのかということを目標の中に整理するということがたぶん出てくるんだろうと思っておりまして、維持管理計画の中にはその構造物がどういう外力に対してどこまで壊れることを許容するのか、または維持管理の中で死守していくのか、ということを宣言してい

● スライド2



● スライド3



く、それを実務の中で維持・補修をしていくということになるんだろうと思います。これは設計のときに、どこまで壊れることを考えて設計するか、というそういう分類法での区分です。(スライド4)「終局限界」とか、「使用限界」とか、「修復限界」というのがありまして、安全性にかかわるようなところ、絶対にそれは防ぐというようなことは終局限界になるでしょうし、利用者の安全を確保したり、取水機能を確保したりするというのは使用限界というように説明されますし、あまり放っておくと非常に大規模な改修が必要になる、軽微な改修で改修したいということになりますと、そのような修復限界を保つというようなことになったりして、それぞれ今までやってきた維持管理というものがどういう許容できる状態というものを考えて維持管理しているのかということがこれで説明できるようになるというキーワードでございます。当然ながら、今日は安全性についての議論をしているということでございます。

それで今後の状態把握をどう考えるかということでございますが、幾つか河川管理の特殊性を踏まえてデザインしていく必要があるということでございます。(スライド5)

1つは、河道と土堤、またはコンクリート構造物、そういうものが要素となって、それぞれが個別になっておりまして、逆に、個別の議論になってしまうところを一つのシステムとして捉えるということが非常に大事だと。これはこれまでの答申等でも言



われていることでありまして、それは実際にどうということかということをはっきりとすることが必要であると。

あとは、河道等の常に状態が変化するもの、先ほど言いましたように「上昇する」とかそういうことを前提とするということが、普通のコンクリート構造物と違うということ。

あともう1つは、自然公物としての管理責任の範囲を踏まえるというふうに考えておりまして、それは例えば越水による被害というのは、たぶん管理者は責任を取る範囲の外側になると思います。そのほかに基盤漏水とかそういうことはどこまで管理者の責任になるのかというような話もあるかと思いません。そういうことで、全てを維持管理で対応できるかと言うと、そうではないのではないかと、ということ踏まえたデザインをしていく必要がある。

あとは情報が非常に限られているということなので、不確かな情報の中で判断するということが分かってもらうということが大事だと思います。それ

● スライド4

ものの破壊(望ましくない状態)の許容可能な状態の区分			
要求機能を満たす限界状態	対応する構造物と部材		
	構造物	部材	本日の対象範囲
終局限界状態 (安全性が許容可能な水準にある限界の状態)	堤防	地盤、土堤、堤防護岸、漏水防止工、ドレーン工、堤防植生、高水堰岸、吸出し防止材、堤脚保護工	
	河道	河床、樹木(流下能力の確保)	
	施設 堰 床止め 樋門	高水敷保護工 高水敷保護工 高水敷保護工	
使用限界状態 (河川利用、水防活動、遊覧、乗船、取水、排水等の使用性が確保される限界の状態)	堤防	大崎瀦留、破路(管理車両通行)、堤防植生(環境)、階段工(河川利用)、親水護岸(親水機能)	
	河道	樹木(環境)	
	施設 堰 樋門	ゲート、堤柱、門柱等(ゲート機能) 堰頂、ゲート、門柱等(排水機能)	
修復限界状態 (容易に修復することが可能な限界の状態)	堤防	高水敷、低水護岸	
	河道	河床、樹木(偏流等)	
	施設 堰 床止め 樋門	水明き 護床工 護床工	

● スライド5

河川の維持管理のデザインに求められる視点

- ・ 河道や土堤を始めとする様々な構造物を要素とするシステムとして捉える
- ・ 河道等の常に状態が変化する(機能は低下だけではなく上昇することもある)ことを前提とする
- ・ 自然公物としての管理責任の範囲を踏まえる
- ・ 評価や予測の不確かさの中での維持管理が求められる

を表したのがこの図でございます。(スライド6)  
 河川の場合には、江戸時代とか古くから使っている  
 構造物もありますので、そもそも今の仕様に合わない  
 構造物がたくさんあるわけですし、その構造が全く  
 分からないものがあったりもします。そういう中で  
 変状を把握して、目視で把握できる部分とできない  
 部分、または把握そのものできないような部分  
 もあるわけです。この灰色の部分はまだ目視でも無  
 理ですし、たぶん今後の計測技術でそれが明らかに  
 するものなんでしょうが、そういう灰色の部分があ  
 りても残るといっていいでしょうし、その管理対象  
 となっているものだけを見るんじゃなくて、堤防の  
 下に座っている地盤とか、それがどういう環境に置  
 かれているのかというようなことによって全然パ  
 フォーマンスが変わってくると。実際に洪水のとき  
 にもたなければなりません、その外力というのは  
 非常に複雑なので、やってみないと分からないけれ  
 ども、その中で管理しなければいけない。なおかつ、  
 外力とか基盤材料というものについては、作ったも  
 のではないし、予測もできないということなので、ま  
 さに自然公物としての特徴を表しているような、外  
 力はもう我々の想定を超えるようなものもあると。  
 このような要素の中で維持管理をしているというこ  
 とでありますので、できることは全てではなくて、  
 限定的であるということを考えていく必要があるの  
 ではないかと思っております。そういったことを前提  
 としてものを考えておまして、今日のご発

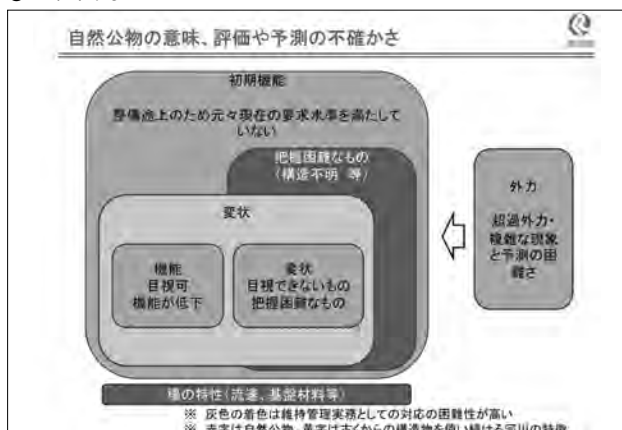


表はまずこの後、永矢さんからその中心となる考  
 え方をご説明いただきたいと思っております。(スラ  
 イド7)

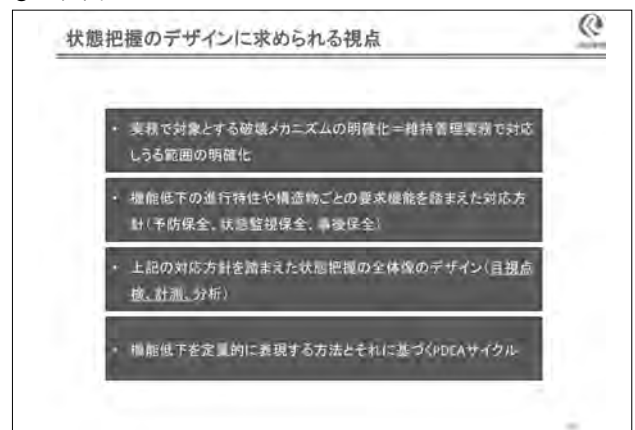
まず、大事なことは、そういうことで我々が維持  
 管理の中で対象としなければならない範囲をちゃん  
 と明確にしてあげないといけないと思えます。いろ  
 いろなメカニズムがあるんでしょうが、維持管理の  
 中で最低限対象にするものを明確にして、最低限こ  
 ういうことをやろうという基準をつくってやらない  
 と現場も困るだろうということで、維持管理実務で  
 対応しうる範囲を明確にするということも含めて、  
 実務で対象とするメカニズムを明確にするというこ  
 とで、後ほどFT図の話させていただきます。

それから、機能を中心に考えていくんですが、堤  
 防の壊れ方と護岸の壊れ方と、それから河道の変  
 化の仕方というのは、それぞれ同じように望ましく  
 ない状態を定義しても、どういうときに変化するの  
 かとか、時間スケールとかも全く異なりますので、  
 そういう機能低下の進行特性とか、または先ほど言

● スライド6



● スライド7



ましたように、構造物ごとにどういう基準で更新していくのかとか、そういうことを一つ一つ分けて考えていくと。可能な限り予防保全をするというようなものもあるでしょうし、ある程度壊れても許容されるものであったら、様子を見ながらとか、壊れてから対応すればいいということを、一つ一つ特性を踏まえて整理していく必要があるんじゃないかと思っております。

そういう機能低下の進行特性を踏まえた状態把握が必要だということですが、具体的に言いますと全てのものを毎年、洪水前と洪水後に点検して、それが果たして有効なのかどうかというような

ことにもつながる話でございます。それは機能低下の進行特性に応じて、大事なタイミングでやる、ということに重点を置いていく必要があると。また、カバーしきれないものまで見る必要はないんじゃないかということで、そういうことがこれでデザインされているということでもあります。

あともう1つは、目標を明確にするために機能を表現できる方法が求められると考えております。

それでは詳しい説明については永矢さんにつないでいきたいと思っております。それでは、よろしく申し上げます。

# FT図を用いた河川の機能低下による変状把握手法

—河道を事例として—

(株) 建設技術研究所 東京本社河川部 次長

永矢 貴之

永矢 建設技術研究所の永矢と申します。私の方からは「FT図を用いた河川の機能低下による現状把握手法（河道を事例として）」ということで発表させていただきたいと思っております。先ほどご紹介いただきましたように、河川財団との共同研究ということで参加させていただいた成果ということで、今日は発表させていただきたいと思っております。

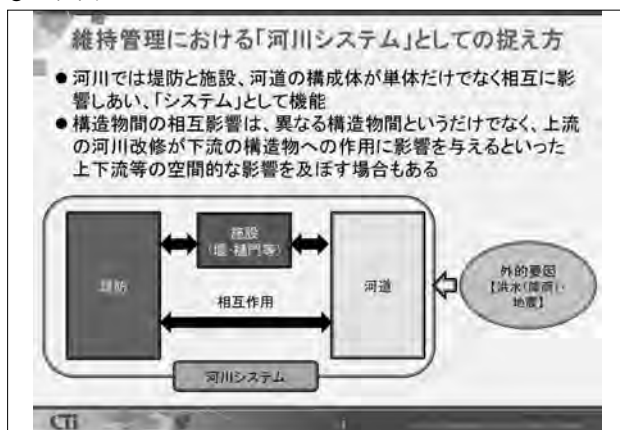
まず、維持管理における河川システムとしての捉え方ということで、先ほど安原さんからもお話をいただいたということなんですけれども、河川では堤防と施設、それから河道という3つの構成体が単体ではなく、相互に影響し合っただけでなく、システムとして機能しているというように捉えております。（スライド1）それで、例えば構造物間の相互の影響というのは、異なる構造物間だけというだけでなく、例えば上流の河川改修をしたときに下流に影響を及ぼすというような影響もあります。そういう意味で、相互間だけでなく、上下流という空間的な影響を及ぼすという場合も考えられます。または、外的要因として洪水や地震、こういうようなものがこのシステムに影響を及ぼしていくというような捉え方をし



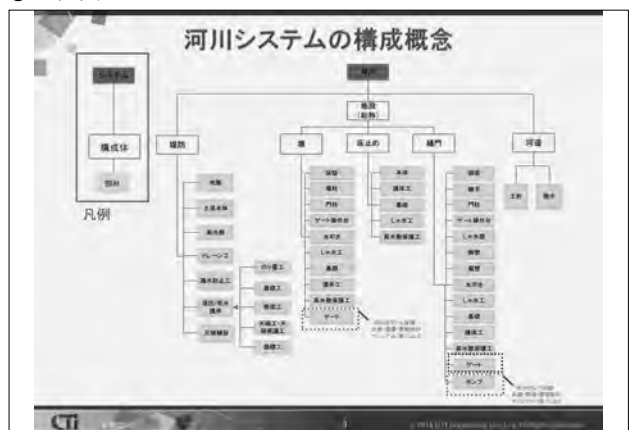
ぎいます。

それで、その河川システムの構成をこのような形で整理をさせていただきました。（スライド2）それでこの河川システムとしては、構成体といったところ、ここでは堤防とか、堰とか、床止めという形でまとめておりますが、それとそれを構成する部材というような形で、まとめるとこういうものになるだろうということなんです。それで、これはどのレベルで壊れるのかということを考える必要があるというように捉えております。例えば、護岸が壊れても、堤防が壊れるとか、どの段階までもつのかとか、そういうようなところを考えていかないと

● スライド1



● スライド2



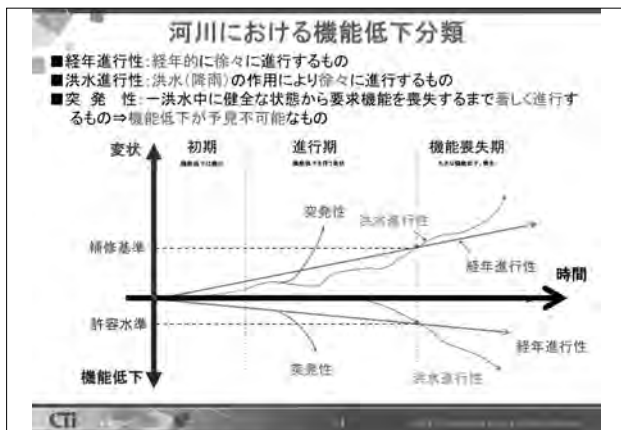
けないというところがございます。

次に、「河川における機能低下の分類」ということで、ここでは3つで整理させていただきました。(スライド3) この図は横軸を時間にとって、縦軸を変状というような形、あるいは下の軸は機能低下というようなところで示しております。これを見ますと、経年的に徐々に進行していくもので「経年進行性」と呼ばれるもの。それから洪水とか降雨というようなイベントによって徐々に進行していくもの、これを「洪水進行性」という形で整理しております。それとともに「突発性」ということで、ここでは一洪水中に健全な状態から要求機能を喪失するまで著しく進行するもの、というような、この3つの機能低下分類ということで整理させていただきました。

このうち経年進行性とか、それから洪水進行性というところについては、ある程度予見が可能であるものというように捉える一方で、突発性というところについてはこの機能低下が予見不可能なものというように捉え、3つなんですけれども、予見可能なものと予見不可能なものがあるというように捉えております。

それで、これらの機能低下の進行特性ということはこのように分類はできるんですが、例えば現状どのように機能低下が進行して変状・被災しやすいかということは、これはそういうところを捉えていかなければいけないというように考えております。

● スライド3



それで目視点検というのはその前段という形で、こういうようなものを捉えていくところの第一歩であるというように考えております。

それで「河川の機能低下メカニズム」ということで、このようにまとめています。(スライド4) それらを河川管理の実務の対象として機能低下の対象方策ということを明確にするために、このようなメカニズムで整理をしました。それで先ほどの河川のシステムを、河道と堤防というような形で簡単に分けまして、それで先ほどありますように、機能低下に至るメカニズムということで、プロトタイプになります。大きく16の分類をしております。それぞれそのようなメカニズムがどういった機能低下によって生ずるのかというようなところをまとめた表がこれでございます。

それで、河道を対象として説明していきたいと思えます。これは先ほどここにあります1-1~1-7の「河道」という形で捉えた機能低下が生じる要因ということを簡単に模式図で示したものになります。(スライド5~8) 例えば「1-1. 土砂堆積による流下能力低下」でいきますと、河道整備直後はこのような流下能力のある断面になりますが、先ほどありましたように土砂が堆積する、低下するだけでなく上昇するところで流下能力がなくなって越水したり、場合によっては破堤したりするというようなところ。

それから「1-2. 樹木繁茂による流下能力低下」と

● スライド4

区分	機能低下のメカニズム	機能低下の特性	初期に経年による把握が可能な要因
河道	1-1 土砂堆積による流下能力低下	【洪水】進行性	土砂堆積
	1-2 樹木繁茂による流下能力低下	【経年】進行性	樹木繁茂
	1-3 河川横断構造物の安定性低下	【経年/洪水】進行性 (突発性の場合はあり)	河川横断構造物の劣化
	1-4 構造物による構造の劣化 1-5 樹木による構造の劣化 1-6 樹木による構造の劣化 1-7 構造物・河川横断構造物の安定性低下	【洪水】進行性 【経年】進行性 【洪水】進行性 【洪水】進行性	河川 樹木 河川横断構造物
堤防	2-1 堤防水による堤防の安定性低下	【経年/洪水】進行性 (突発性の場合はあり)	【水防対策】 堤防の劣化
	2-2 堤防の構造安定性低下	【洪水】進行性 (突発性の場合はあり)	堤防の劣化
	3-1 基礎材料の劣化による堤防の安定性低下	【経年/経年】進行性	基礎材料の劣化
	3-2 基礎材料の劣化による堤防の安定性低下	【洪水/経年】進行性	基礎材料の劣化
河川横断構造物	4-1 堤防による堤防の安定性低下	【洪水/経年】進行性 (突発性の場合はあり)	河川横断構造物の劣化
	5-1 樹木による構造の劣化	【洪水】進行性 (突発性の場合はあり)	河川横断構造物の劣化
	5-2 樹木による構造の劣化	【洪水】進行性 (突発性の場合はあり)	河川横断構造物の劣化
	5-3 樹木による構造の劣化	【洪水】進行性 (突発性の場合はあり)	河川横断構造物の劣化
	5-4 樹木による構造の劣化	【洪水】進行性 (突発性の場合はあり)	河川横断構造物の劣化
5-5 樹木による構造の劣化	【洪水】進行性 (突発性の場合はあり)	河川横断構造物の劣化	



いようなところでいきますと、河道直後は流下能力のある断面でありながらも、樹木が繁茂していくことによって河積が阻害されて、水位上昇して堤防を溢水すると、こういうようなものでございます。

「1-3. 河川横断構造物の安定性低下」、 「1-4. 構造物による偏流の発達」、これは堰というように想定しまして、そこを回り込む流れによってこういうようなところが侵食したりするというようなメカニズムです。

「1-5. 樹木による偏流の発達」は、樹木が繁茂することによって大きく蛇行する流れが生じて、偏流が生じて被災が生じると、こういうようなメカニズムです。

「1-6. 砂州による偏流の発達」は、ここでは3つのパターンで分類しているわけですが、砂州の固定化によって砂州を回り込む流れが生じたり、あるいは固定化した砂州の一部が変形することによっ

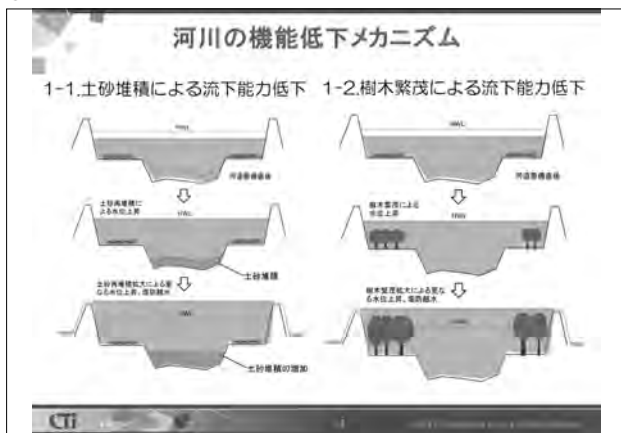
て、例えばクランクフローのような流れになって被災が生じるとか。それから3つ目のパターンとしては、堤防とか滞筋、それから水衝部が変化することによって砂州が移動して、その下流で被災するというようなメカニズム。

それから最後の「1-7. 湾曲部・合流部における偏流の発達」は、これは合流部を示しておりますが、内湾側が土砂堆積という形になることによって対岸側が被災するという、こういうようなものを少し模式的に整理しております。

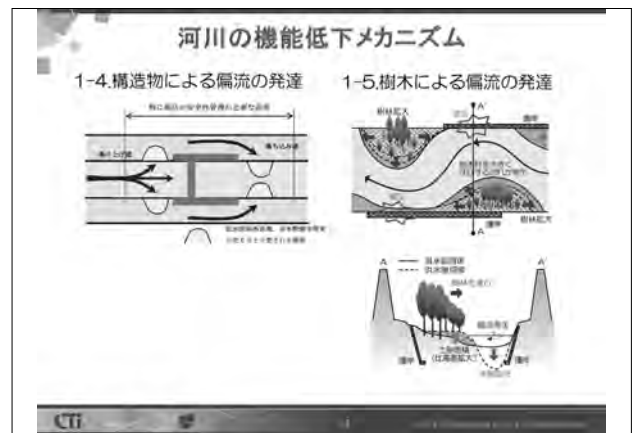
それで、これらは河道だけでなく、先ほどありましたような堤防護岸というところについても、あわせて研究の中では整理しておりますが、今日は河道のところだけ少し抜き出してご説明をしております。

それで、そういうものを踏まえて「機能低下と維持管理」ということで、少し整理させていただきます

● スライド5



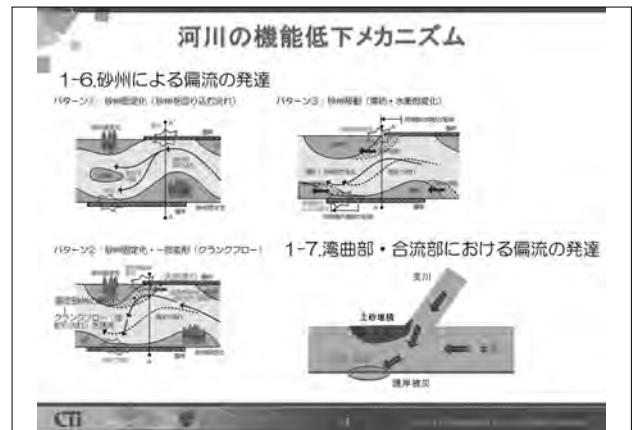
● スライド7



● スライド6



● スライド8



した。(スライド9) 河道の機能低下、例えば先ほどありました河積の減少であるとか、それから偏流の発生というのは、健全な状態から何回かの洪水によって徐々に進行していくというものと捉えることができるかと思えます。そういう意味で、予防保全というのはある程度進行していくことが分かるということで可能であるということでございますけれども、そういう意味で一洪水で経年進行性や洪水進行性というのは、モニタリングによってある程度進行度の把握は可能ではないか、というように捉えております。

一方で、突発性については機能低下が進行してなくても、洪水中に突如発生するということもございます。そういう意味で機能低下をモニタリングするということに加えまして、どのような予兆が見られると機能低下が進行するかということ、あらかじめ想定しておくことが重要ではないかと考えております。

それで、これらを把握すると言うか、事前にどういふ予兆が見られるのかという点を整理する上で、先ほどの表題にもあります「FT図による機能低下現象を想定した予防保全型の河道管理」ということを少し考えてみたところでございます。

それでFT図を解説する上のフォルトツリー解析、「FTA解析」というように言われておりますが、これは皆さんご存じのものでございますので、簡単にご説明しますが、頂上現象、これは好ましくない事

象を想定しまして、その発生する条件とか要因をツリー状にして下の方に展開していくというようなものでございます。(スライド10)

これを今回、維持管理に、特に今回は「河道」という形で整理しておりますが、そういうような形でこのFT図を使って機能低下と要因の関係というものを整理したということでございます。(スライド11)

結局、頂上現象というものがやはり堤防の越水による破堤であるとか、侵食破壊といったようなところにつながっていくというような形になります。それで、それぞれそれを好ましくない事象というように捉えて、その下位に展開していくというような形で整理してゆきます。

ここに色分けをしているんですけども、これが機能低下の現象ということで、先ほど出てきた16の現象を低下メカニズムをここに入れております。そ

● スライド9

● スライド10

● スライド11

れで、その際に出てくる変状というものを四角で入れているんですが、ここがこの色分けをしているのが目視で分かるもの、あるいは詳細点検でしか分からないもの、それから色をつけていないものは逆に言うと分からないもの、調査や目視だけでは分からないものという形で整理しております。

そういう意味で、例えば目視でこういう事象が起こった場合には、後々こういう事象が起こるであろうということが予見される、という形で分かるように整理しております。ただ、これはひとつのプロトタイプとして今お示しをしておりますので、実際には各河川の特長とか、あるいは上流・下流というところで変わっていくものでございます。それで、その元となる機能低下となる要因というものがこの下にあるところでございます。例えば、こういう機能低下の要因が起こると、こういうものが発生する可能性があるということを事前に把握することによって、例えばそこをこういう事象が出たときにここで対策をすべきなのか、あるいは待っていて、もう少し観察という形にしておいた方がいいのか、そういうようなところを判断するというような考えの中でこのようなFT図を活用してはどうかというところで整理したということでございます。

それを河道だけ抜き出してみると、こういう図になるという形でございます。それも、これが全てということではなくて、これもそれぞれの河川によって異なってくるものであると考えております。(ス



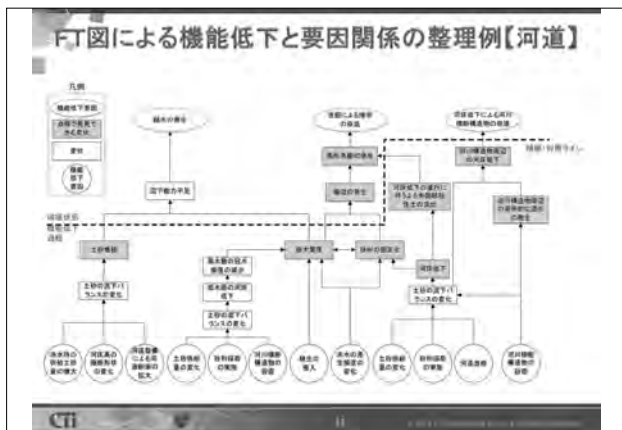
ライド12)

それで、こういったFT図から変状の発生とか、進行の把握への展開というところをまとめております。(スライド13) このFT図によって要因と機能低下の関係というものを明らかにして、例えば被災しやすい場などを特定して、それが目視点検で把握できるのか、あるいはそうでないのか、それから進行性なのか、突発性なのかというものを分類することで状態把握をしていくということになります。

それで、ここではそれぞれの機能低下の要因と、変状の状態から、被災しやすい箇所とそうでない箇所を分けて、ここは先ほどからもありましたように、重点監視区間であるとか、要監視区間（箇所）と、そうでない区間というものを分けていくと。

それともう1つは、目視点検で把握できるものなのか、そしてそれが進行性なのかというようなところ。これは従来どおりに目視点検で済むようなところもあるでしょうし、また先ほど色分けをしたよう

● スライド12



● スライド13

**FT図から変状発生・進行の把握への展開**

FT図により、要因と機能低下の関係を明らかにし、被災しやすい場を特定し、目視点検で把握できるものとそうでないもの、進行性が突発性を分類

↓

**【状態把握の展開】**

- それぞれの機能低下要因と変状の状態から、被災しやすい箇所とそうでない箇所を区別（重点監視区間・箇所とそうでない区間）
- 目視点検で把握できるもの、進行性⇒従来どおり目視点検または新たな効率的な計測技術
- 目視点検で把握できないもの、進行性⇒非破壊計測技術の導入
- 突発性⇒洪水中の監視の充実（洪水期前・後の定期点検では対応不能）

**【課題】**

- スクリーニングに有効な判断指標または変状
- 点検者による点検結果がばらつかないように、作業標準と判定基準が必要

➡ **各機能低下メカニズムごとに状態把握手法を提案**

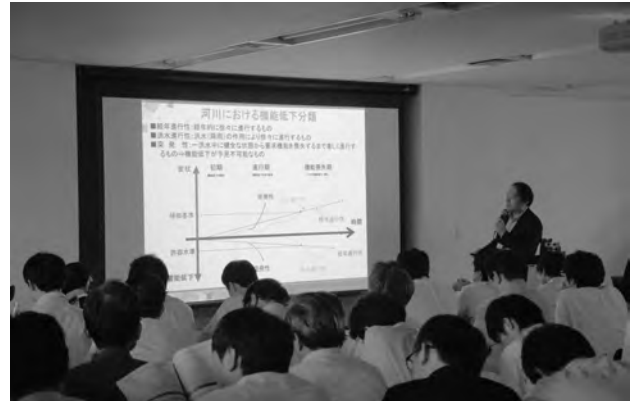


ろを見ていくと。それで、もしそのような変状があるという場合には、もう少し詳しい物の見方をして、どれくらい流下能力が減少しているのかというのを確認していくというようなところになります。

それで、その詳細調査を行っていく判定基準ということで、ここでも4段階という形で分けております。ちょっとこの事例としては少しあれなんですけど、「a・b・c・d」というところで、「a」は変状がないというような形。それから「b」は洪水時の機能に影響がない範囲の変状である。それで「c」については、機能が低下しているという変状。それから「d」は機能が喪失する可能性が高いという変状、という4つに分けております。それで恐らく今、課題となっているのは、例えば「a」とか「b」については目視である程度は判断できるであろうと。しかしながら、「b」と「c」についてはどうか、「c」を判断するときに目視で見られるのか、あるいは新たな計測技術を用いてやらないといけないのかというようなところが課題としてあるのではないかと考えております。

それで、これは樹木の繁茂による流下能力の低下、同じように河川の横断物の安定性の低下、それから樹木による偏流の発達、それから砂州による偏流の発達、湾曲部・合流部における偏流の発達というような形で少し、こういうような形で作業標準といったようなもの、あるいはタイミング、それから判定指標を整理したというところがございます。

それで例えば「土砂堆積による流下能力の低下」



を取り上げて分析の評価事例を書くと、こういう形になるのかなと思います。(スライド22) これも一般的にされているようなところだと思いますが、まず定期横断測量ということで、これは総点検という形で位置づけられます。それで出水が起きれば、臨時点検ということで出水後に点検をやって、目視と写真撮影によって、定期点検として見られているところと土砂堆積がどのくらい見られるのかという比較をして、明らかに変化が見られるようであればまた横断測量を行って堆積状況を把握していく。

それから5年に1回の定期点検の中で、流下能力とか横断の重ね合わせをやって、明らかに変状が起きているというところについては、その減少量がどのくらいなのかというところを判定して詳細な点検に進んでいくと。こういった流れで少し整理をさせていただいているところです。

それでちょっと今回のまとめということで簡単に整理しておりますが、(スライド23) FT図を用いて

● スライド16

**状態把握手法①土砂堆積による流下能力低下**

構成	対象とする機能低下	点検方法	判定基準	
			詳細調査の変更	補修の実施
河川	土砂堆積による河道の機能(流下能力)低下	【一次点検】 出水後・目視と写真撮影による前回調査との比較 ・溝筋変化 ・砂州移動・変形 ・河川横断構造物上流の堆積 ・セグメント変化点での堆積 ・低水路急狭付近での堆積 【詳細調査】 横断測量の実施と既往の測量結果との比較 ・堆積状況 新たな測量結果を用いた単二次元不等流計算の実施 ・流下能力減少量	a. <input type="checkbox"/> 溝筋、砂州移動、土砂堆積の変化(はいずれも見られない) <input type="checkbox"/> 溝筋変化がある <input type="checkbox"/> 砂州移動がある <input type="checkbox"/> 土砂堆積がある ※平面図記録 ※写真撮影	a. 変状なし b. 洪水時の機能に影響がない変状 c. 機能が低下している変状 d. 機能喪失する可能性が高い変状

● スライド17

**まとめ**

- FT図を用いて劣化要因と機能低下の関係が明らかにすることで、洪水時に破壊するかどうかを分析し、予防保全、事後保全等の対応方針を検討することが可能となる
- FT図で得られた各機能低下メカニズム毎に状態把握手法を提案一(課題)劣化状況の判断指標、点検・監視技術水準の保持、閾値の設定
- 判断指標は目視で把握可能な指標を設定
- 一次点検、詳細点検での作業標準を設定し、水準を保持(ただし、作業標準はデータの蓄積等により変わる)
- 判定基準は目視やデータの重ね合わせで判断できるもの設定

劣化要因と機能低下の関係を明らかにすることで、洪水時に破壊するかどうかということを分析しまして、予防保全とか事後保全、こういった対応方針を検討することができるのではないかとということ。

それから、FT図で得られた各機能低下メカニズムごとに状態把握手法を提案したというところがございますが、やはり劣化状況の判断指標であるとか、点検・監視技術水準の保持とか、閾値の設定というところが課題になっているのではないかと考えております。

それから、判断指標というのはやはり難しいもの

ではなくて、目視でまず把握可能な指標を設定することである。それから一次点検、それから詳細点検での作業標準を設定しまして、水準を保持することが重要なと考えております。ただし、この作業標準というのは不変なものではなくて、データの蓄積によって変わっていくものであるということ。それから判定基準というのは、目視とデータの重ね合わせで判断できるもので設定していくことが重要ではないか、ということでもまとめさせていただきました。

以上で発表を終わらせていただきます。

# 計測技術の活用による状態把握実務の展開（後半）

（公財）河川財団 河川総合研究所 戦略的維持管理研究所長  
安原 達

安原 ということ、今永矢さんのご発表にありましたように、管理で対象とする壊れ方というのを明確にしまして、どういう過程で壊れていくのか、そういうことを明確にするということがまずひとつのポイントであります。

点検と分析の違いについて補足の説明をしたいと思います。仮に護岸に変状があると点検で分かる場合、左の護岸と右の護岸は全く違うということですね。（スライド1）左の方は低水護岸に傷があって、右の方は堤防護岸に傷があった場合、それは明らかに意味合いが違うでしょうし。また、そこは流速がどうなっているのかですとか、前面に砂州がついているのかどうかというようなこと。または、護岸の形式や高水敷、堤防護ラインとの位置関係がどうなっているのかということを含めて考えないと、変状の意味は評価できないというのが、ポイントになります。

侵食は非常に分かりやすいですけれども、すべりについてみても、例えばドレーンと堤脚水路がある場合に、それらが共に健全だった状況と、それから何もないのに健全だった状況をどう比較するか。点検では素材とか細かいレベルでは健全度だけでは

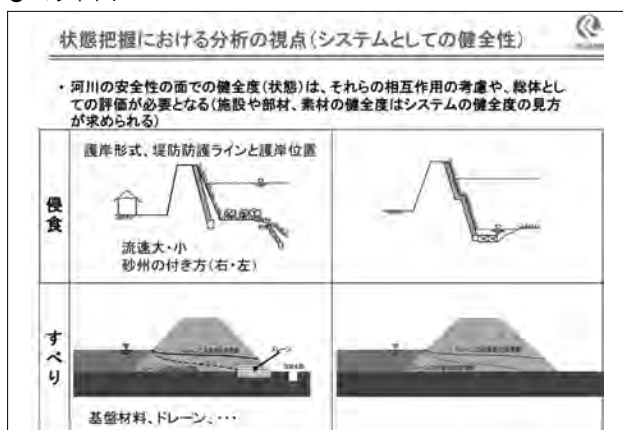
なく、河川のシステムの安全性のジャッジというもつと大きな視点でものを見ていかないとジャッジができないだろうということです。

そうしますと、状態把握における点検と言うのは、数字を見て判定するというよりも、変状があるかどうかをまずスクリーニングで集めてくると。そのあとは分析の仕事という役割分担になってくるということです。

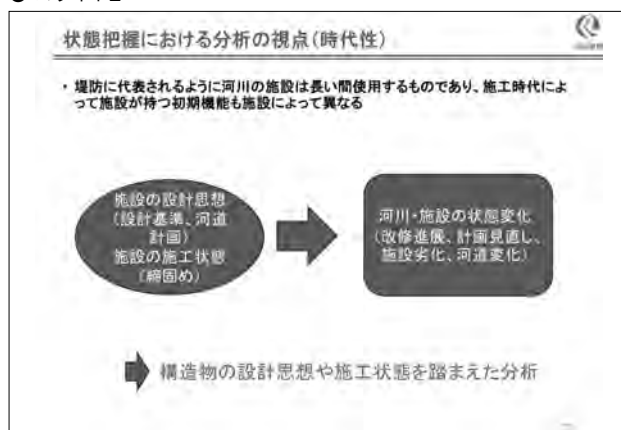
もうひとつ、河川における状態把握の難しさでございますが、先ほどお話をさせていただきましたが、施設がいつ作られたかによって全然規格が違います。（スライド2）ですから、または堤防であれば施工の状態も全く違いますと、変状に加えて、これらの情報がないと正しいジャッジができないということです。

ということなので、先ほどの永矢さんの発表を見ていただきますと、ほとんどの指標が定性的な指標になっておりまして、変化があるか、ないかをジャッジすることになると考えておりおります。ですから点検とは、前回に比べてその傷が増えているのかどうか、変状があるのかどうかということさえ分かれば、あとは分析の中で全体が明らかになるというこ

● スライド1



● スライド2



とで、変化を目視、または計測技術でスクリーニングして、それを分析にかけていくというような流れになるのではないかと考えております。

でありますので、この後、計測技術についてのご発表をいただくんですが、それら16のメカニズムに対して計測技術は前回との差異、変化を的確に把握できるものなのかどうかということのコメントもあわせていただきながらご発表いただければと、ぜひこのように思っておりますので、よろしく申し上げます。

それで、あともうひとつは状態把握をもっと効率的にやる時の視点を整理しております。(スライド3)一番上は今申し上げたことです。前回との差異を発見するということが一番大事ということになります。そのために作業の標準化が必要ということになります。

あとは、毎年全て入念に目視点検するというのではなくて、先ほど申し上げましたように、重点箇所とそれ以外を区分するというのと、適切なタイミングでやっていくということと、それから計測技術を活用して効率化していくということを組み合わせていくと。それで先ほどありましたように、5年と言うのはひとつの目安ですから、それが何年がいいかと言うのはいろいろ議論があるかと思いますが、総点検と毎年の点検を組み合わせるとというのが今後の考え方として大事になってくるのではないかと。それで平常時にやっている河川巡視という

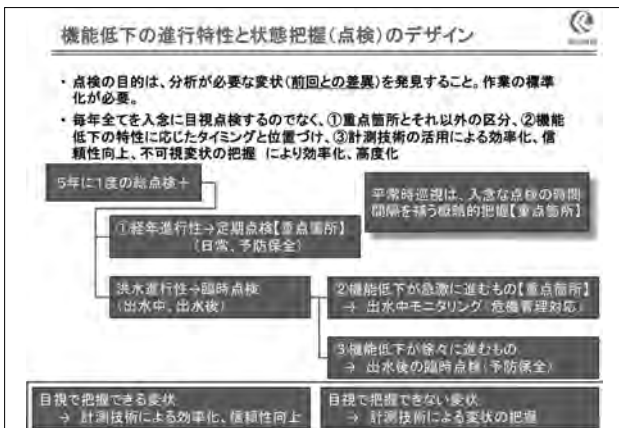
のは、そういう入念な点検の間を、時間的な間隔を補うような概略的な把握ということで位置づけられていくということになります。

それとあともうひとつは、洪水進行性ということで、無理な名前をつけましたが、こういうものには河道のように徐々に進行するもの、砂州が少しずつ変化していくというようなものもあるんでしょうが、そうじゃなくて機能低下が急激に進むものというものも恐らくあるんだと思います。恐らく堤防の破壊メカニズムとかそういうものは、どちらかと言うと機能低下が急激に進む被災というのが多いのではないかと思います。そういう、日常で変状を追って行っても把握できないものについては、出水中にモニタリングしていくという対応になってくるのではないかと思います。

あとは目視で把握できるものについては、それを計測技術でさらに効率化したりとか、ヒューマンエラーをなくすという使い方になっていきますでしょうし、目視で把握できないものは見える化ができるということで組み合わせてやっていくという考え方になります。

その具体的な整理の一例をご説明するのが最後のこのパワーポイントの3枚でございまして、それぞれ先ほどご説明しました16の破壊メカニズム、対象とするものについて先ほどの永矢さんの話にあったように、目視で明らかに分かるもの、または計測で明らかに分かるもの、そういう分析にもっていくよ

● スライド3



● スライド4

**河道の点検について**

・ 予防保全的な維持管理。

機能低下メカニズム	注目する現象	詳細現象や分析を必要とする「e」(機能低下を伴う変状)の判定	現状	方向性と取組
1-1 土砂堆積による流下能力低下	河床変動	・河筋変化、砂州移動・変形、土砂堆積がみられる	定期検断	総+出水後点検 継続的把握
1-2 樹木繁茂による流下能力低下	樹木繁茂状況	・樹木の範囲・成長に進行がみられる	定期検断	定期(日常)/ 継続的把握
1-3 構造物の安定性低下	河床洗掘、護床工の状況	・護床工の沈下、変形、流出が生じている	定期検断+ 目視点検	総+出水後点検 不可視部分の把握
1-4 構造物による偏流可能性	河床洗掘、洪水敷浸食	・進行、変化がみられる ・落ち込み溝の位置と対策工の位置にずれがある	定期検断+ 目視点検	総+出水時・後点検 継続的把握
1-5 樹木による偏流可能性	樹木の繁茂状況	・樹木の範囲・成長に進行がみられる ・河岸付近の洗掘、侵食・崖岸崩落の発生傾向がみられる	定期検断、 目視点検	定期(日常)+出水時 モニタリング 継続的把握
1-6 砂州による偏流可能性	砂州の固定化、河岸付近の河床洗掘	・進行がみられる	定期検断、 目視点検	総+出水時モニタリング、 出水後点検 継続的把握
1-7 湾曲部・合流部・河岸付近における偏流可能性	洗掘・侵食	・進行がみられる	定期検断、 目視点検	総+出水後点検 継続的把握



うなものの判定基準というものをまとめてみました。(スライド4、5、6) 繰り返しになりますが、発生しているとか、進行がみられるとか、こういうものさえ分かっただけじゃあ、あとはもう分析に回すという考え方で計測技術を使っていく、または目視でやっていただくということになります。

まず、河道(スライド4)ですが、現状を見ますと、大体が定期横断測量の結果とそれから目視点検によるということになっています。定期横断測量については200mだとか、500mという間隔の問題がありますし、目視については目視だけでは判定と言うか、変わっているのかどうかというのが即座には分からないという問題があります。そういうものについて計測技術は連続的な把握ができるというのが河川管理からのニーズになってくるということになります。また、構造物の安定性については護床工の沈下を見たいということになりますが、実際問題、護床工が水中でどうなっているのかというのはほとんど見えません。そういうものについては不可視部分を把握するという意味で新技術が必要になってまいります。

そのほか樹木による偏流の可能性というのは、樹木が生い茂っていると大体このあたりに危なそうだなというのが分かりますが、それが実際に洪水のときにどうなるかというのは、洪水のときに見ないと分かりません。そうすると、それを洪水時に確認することになりますが、なかなかそれはできないと思

います。それを可能とするのであれば、例えば人工衛星によって流況を洪水中も把握するとか、そういう技術が必要になってくるということで、この流況把握が必要になってくるということです。

続いて、堤防(スライド5)についてですが、堤防はまず一番上、越水した場合に侵食の安全性を確保するというのは、これは維持管理の責任ではなく水防による対応になると、こういうことになります。

そのほかは、堤体の侵食安定性の低下ということで、さまざまな変状を入れておりますが、目視点検ではなく機械で代わることができれば、それは効率化とか信頼性の向上につながるということになります。また、モグラ穴等につきましては、その中を見る不可視部分も必要になってくると。

そのほか浸透とすべりについては、目視のときの基準というのはガマができていたりとかそういうのがありますが、かなりそれは進行が進んだ状態というように考えられる、本当はもっと早い段階で何か分かるという手段が求められるということで、この不可視部分が必要になってくると。そこについては何を計測すればいいのかというのが分からないと。それは後ほどのご発表でぜひ期待したいところでございます。

基盤漏水につきましては、どこまで管理の責任でやっていくのかという問題がございます。場合によっては基盤漏水は越水と同じように水防による対応という考え方もあるのかということになります。

● スライド5

堤防の点検について		現状	方向性と課題
● 予防保全だけでなく、状態監視による維持管理			
機能低下メカニズム	注目する現象	詳細調査や対策の要とする「E」(観測低下を伴う変状)の判定基準	
2-1 越流水による堤体の侵食安定性低下	モグラ穴、わだちの発生、堤防法面の裸地化	・進行がみられる	※ 水防による対応 定期(日帯)効果化、継続性向上、不可視部分
3-1 基礎材料の流出による堤体の安定性低下(変形)	矢張り・法面の変形	・変形がみられる	目視点検 出水直点検+重点箇所出水時モニタリング(不可視部分)
3-1 基礎材料の流出による堤体の安定性低下(漏水)	濁水・土砂流出・噴砂跡	・濁水・土砂流出がみられる ・噴砂跡がみられる	
3-2 堤体材料の流出による堤体の安定性低下(段差)	矢張り	・段差が10cm以上ある	
3-2 堤体材料の流出による堤体の安定性低下(濁水)	濁水・土砂流出	・濁水・土砂流出がみられる	※特に基礎材料は人工物ではない →水防による対応
4-1 浸透による堤体のすべり安定性低下	天端縁部の重通びり割れがみられる 川表・川裏の堤脚部が周囲に比べ湿潤 川裏で濁水が発生している 堤体のほらみ出し、亀裂、沈下、陥没がみられる		

● スライド6

護岸の点検について		現状	方向性と課題
● 護岸の位置や種類によって、予防保全的な対応や事後保全的な対応			
● 現状では変状の把握が難しい部材			
機能低下メカニズム	注目する現象	詳細調査や分析が必要とする「E」(観測低下を伴う変状)の判定基準	
5-1 自然河岸の安定性低下	河岸侵食	・進行がみられる	定期横断 目視点検
5-2 河床洗掘による護低水護岸前面の洗掘	護低水護岸前面の洗掘	・進行がみられる	目視点検
5-3 底込の材流出による護岸の安定性低下	濁水	・変状の拡大がみられる ・濁水がみられる	
5-4 部材の変形による護岸の安定性低下	護岸の変状	・変状の拡大がみられる	目視点検
5-5 高水敷侵食による護岸の安定性低下	高水敷の侵食、低水護岸近傍の侵食	・天端工や基礎工天端の露出、変形の拡大がみられる	

あともう1つは、洪水時にバツと壊れてしまうということがたぶん起こる。それに対してどう対応するという事になりますと、もう日常から点検で異常を把握していくということではなくて、これは状態監視保全とか、事後保全ということになるんですが、危ないところだけは洪水中に変状を測っていくというようなことを組み合わせてやっていると、水防対応とセットになるような考え方になるんですが、そういうものが必要になってくるということになろうかと思います。

最後に護岸（スライド6）につきましては、護岸の位置や種類によってその対応の考え方は全く変わると思います。堤防護岸と安全な低水護岸とは全く違いますので、予防保全とか事後保全、壊れてもいいやというものもあれば、本当に大事にしなければいけないものとか、いろいろなものがございます。ただ、これの一番の課題はやっぱり水中とか、それから護岸の背面、そういうものを見なければならぬということ、不可視部分があるということであ

りますので、例えば河床洗掘で壊れていく過程を追って行くのであれば、河床洗掘をちゃんと水中で把握できる技術というのはいかがなんでしょうか、裏込め材が流出して空洞化していくという過程をちゃんと追えるような技術になっているんでしょうか、ということです。いずれにしても進行が見られる、漏水が見られるということで、それが存在が分かるということが条件になりますので、そういう技術があるのかということになります。

かなり大きくくりな整理でございますが、一応最後で私どもの対象とする河川の維持管理の破壊メカニズム、それに対してどういうものを点検の中で明らかにしたいのか、要するに何が足りないのかということ整理したということでございますので、この後、お二方のご発表でこれに対する可能性ということも含めてご講演いただければと思います。

それでは続きましてパスコの堀内さんの方からご発表をお願いしたいと思います。

# 河川管理に活用可能な計測技術

## —最近のリモートセンシング事情—

(株) パスコ 事業推進本部 統括技師長

堀内 成郎

堀内 私の方からはちょっと切り口を変えまして、「最近のリモートセンシング事情」と題して幾つかの計測新技術をご紹介しますと思います。

最近ではセンサ技術、あるいは情報処理技術の進展、そのスピードが劇的に向上したことによって新技術がどんどん実用化されつつあります。それで今日ご紹介する技術も他の分野、道路とか都市計画等の分野では既に実用化されつつあるものもありますが、これは河川管理にも使えるのではないかという視点で、本日は8つの技術をご紹介しますと思います。ただし、持ち時間が20分できっちり終わらせる予定でございますので、かなりざっとした説明になるかと思えます。もし興味を持たれたら、後ほどぜひ声をかけていただければと思います。

まず、計測技術を紹介する前置きとして、河川を管理するとはどういうことかと。先ほどの安原所長のお話の繰り返しになりますが、河川維持管理の基本方針に、「状況把握を行い、その結果に応じて対策を実施する」と書かれているとおり、計測することが河川管理の目的ではありません。(スライド1) すなわち、河川を治水上、利水上、環境上、

好ましい状態に維持するというのがその河川を管理するという目的であり、私は現在は計測屋の技師長なので、立場上こんなに安く測れます、こんなに早く測れます、こんなに正確に測れます、という宣伝をしますが、あくまでも河川の計測というのは単なる手段に過ぎません。管理という目的に、どういう計測手段が適切かということをしっかり考えておく。言いかえると、計測について議論する前に、まずどういう状態が機能低下なのか。どれぐらいのレベルの状態把握、計測精度が必要かということの共通認識を持つ、あるいは決めることが必要であるということをお前置きしておきたいと思えます。

これは立方体、サイコロのような絵が書いてあります。「ネッカーの立方体」と言うんですが、サイコロのような立方体に見えますよね。(スライド2) これがaのような立方体に見えた方はいらっしゃいますか。では、bのような立方体に見えた方……。大体、後で聞いた方がたくさん手を挙げるんですが、意味はありません。何人かポーっと聞いておられるということが分かりました(笑)。

何が言いたいかというと、状態とか機能とか言っ

### ● スライド1

「河川を管理する」とはということか？

河川維持管理の基本方針

河川維持管理は、河道流下断面の確保、堤防等の施設の機能維持、河川区域等の適正な利用、河川環境の整備と保全等に関して設定する河川維持管理目標が達せられるよう、河道や施設の状況把握を行い、その結果に応じて対策を実施することを基本として適切に実施するものとする。

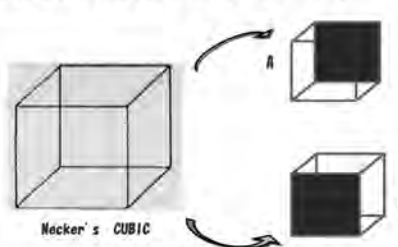
### ● スライド2

「河川を管理する目的」

～計測することが「目的」ではない～

河川を「治水上」「利水上」「環境上」好ましい状態に維持する

状態とは？ 機能低下とは？ 状態把握とは？



Necker's CUBIC

でも、具体的に数字ではなく閾値とはどういうものかというのを定義しないと、同じ言葉で他人も自分と同じことをイメージしているとは限らないということです。

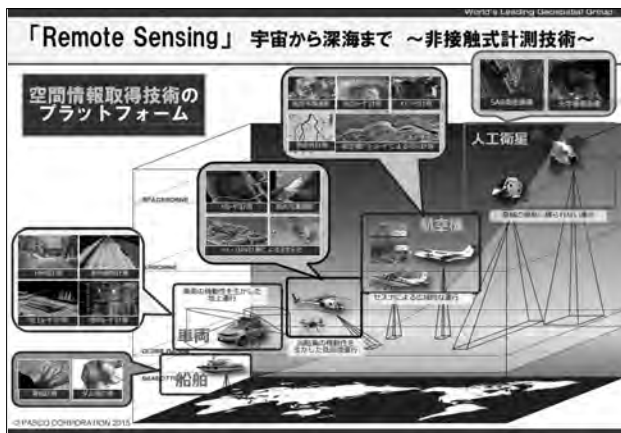
さて、リモートセンシング、非接触式の計測技術のことですが、このプラットフォームは衛星から船舶までそれぞれのプラットフォームがありまして、それぞれメリット・デメリットがあります。(スライド3) 地中の話はこの後にあると思いますので、とりあえずこの中から8つの技術を、これらは既にほかの分野では計画・立案、あるいは施設管理に使われ始めていますが、水管理・国土保全にもこれが使えんじゃないかという観点で、今日はこの8つの計測技術をご紹介しますと思います。(スライド4、5)

まず、宇宙から、パスコですから衛星から始めたいと思いますが、衛星には2種類あるということは



皆さんご存じでしょうか。「光学衛星」と「レーダ衛星」がある。太陽の光が反射したものを写真に撮るとというのが光学衛星です。それに対してSAR (Synthetic Aperture Radar 合成開口レーダ) 衛星というのは自分で電波を発射して、その跳ね返りの電磁波をキャッチして計測するというものです。(スライド6)

● スライド3



● スライド5

- 近年、活用され始めた計測技術**
- (1) 人工衛星 (光学衛星)
  - (2) 人工衛星 (レーダ衛星)
  - (3) 航空写真 (固定翼による垂直撮影)
  - (4) 航空写真 (回転翼による斜め撮影)
  - (5) 航空レーザ・プロファイラ (近赤外)
  - (6) 航空レーザ測深機・グリーンレーザ (ALB)
  - (7) マルチソナー (音響測深)
  - (8) 移動計測車両 (MMS)

● スライド4



● スライド6



● スライド7

World's Leading Geospatial Group

➤ (1) 光学衛星

台風12号 紀伊半島豪雨災害データ

非谷地区 高解像度光学衛星画像  
天候の回復を待ち、9月8日に高解像度50cmで撮影

◎ 写真と同じ(見慣れている)  
○ 高分解能 50cm  
○ カラー撮影が可能

× 撮影機会は通常1日1回  
× 曇天時や夜間は撮影不可

© PASCO CORPORATION 2015

● スライド8

World's Leading Geospatial Group

➤ (2) SAR衛星

台風12号 紀伊半島豪雨災害データ

SAR衛星画像で発見された非谷の天然ダム

◎ 雨天や曇り、夜間でも撮影可能  
○ 分解能 1m (最高分解能 25cm)  
◎ 1日2回(朝・夕)の撮影機会  
◎ 2時期画像の解析により  
定量的変化抽出が可能

△ 単画像はモノクロ  
(判読に技術が必要)

© PASCO CORPORATION 2015

それぞれメリットがあって、光学衛星はまず写真と同じですから、見慣れている、判断がしやすい。分解能も非常に高く、かつカラーで撮影が可能ということですが、撮影機会が大体通常1日1回に限られていて、そのタイミングで曇っていたり、あるいは夜だったりしたら撮影ができないというデメリットがあります。(スライド7) それに対してSAR衛星は、曇っていても、雨でも、夜間でも撮影が可能です。分解能もほぼ同等のものがあって、朝と晩の2回撮影機会があると。さらに、同じアングルの2時期の画像をスタックすることによって、定量的な変化抽出が可能というメリットがあるんですが、ご覧のように単画像で、斜めに撮影していますから判読になかなか技術が必要というデメリットがあります。(スライド8)

このSAR衛星については、もともとは「レーダ衛星」、「偵察衛星」と言われていたのですが、平成23年の紀伊半島災害のときに、山の奥が雨が降ってい

● スライド9

World's Leading Geospatial Group

(2) 台風12号 紀伊半島豪雨災害(平成23年9月)

平成23年の台風12号災害時には、衛星SAR画像による観測・判読技術によって、夜間・曇天候下においても山間部の天然ダムの形成箇所を迅速に探索発見することができた。広域に渡る山間被災地域から天然ダムの形成箇所をすみやかに発見・抽出するにはSAR衛星の活用が非常に有効な手段となるということが実証された初めてのケースとなった。

TerraSARは日本列島を11日間に4度の頻度で撮影。オーダーから最短2時間対応が可能。台風12号の場合は依頼から撮影までのタイミングがうまく合ったため、短時間で対応出来た。9/4夜に計画検討・依頼、9/518時に撮影、同日21時~9/6未明に判読・提供

SAR衛星画像で発見された非谷の天然ダム  
曇天時の光学衛星画像

TerraSAR-X  
非谷地区  
長敷地区  
非谷地区  
長敷地区

© PASCO CORPORATION 2015

● スライド10

World's Leading Geospatial Group

(2) 熊野川下流域の氾濫状況(平成23年)

メバスコは独自に台風12号の接近による災害発生を予測し、事前に撮影予約を行うことにより、9月4日6時にSAR画像による下流域の撮影を実施。事前に撮影されたアーカイブ画像と重ね合わせた推定浸水範囲をGISデータとしてWebで即時に公開した。

発災前後画像により迅速な変化抽出を実施  
抽出範囲をGISデータとして公開

熊野川の光学衛星画像の日にSAR衛星画像から抽出した推定浸水範囲を重ね合わせたもの

© PASCO CORPORATION 2015

てどういう状況か全然分からないというときに、衛星データで深層崩壊箇所を8箇所、数時間で判読・抽出して災害対策本部に届けられたということで、これはけっこう使えるなというので、実用されたのがまだほんの数年前の話です。(スライド9、10)

河川の場合には、あらかじめ光学衛星で撮っておいた写真に、SAR衛星の電波だと水部は全部反射して真っ黒になり、それを重ね合わせると瞬時に浸水範囲が抽出できるということです。平成23年は東日本の水害のときにも活躍しましたし、タイのチャオプラヤ川の洪水は非常にゆっくりと進行しましたので、複数の衛星が、飛んでくるたびに映して、どんどん洪水が進んでいく、バンコクに近づいて行くという状況が観測できました。(スライド11)

これは平成20年の岡崎水害のときですが、地上部分はもう写真のような状況で、道路が全然走れないものですから、どこが浸水していて、どこが通れるかなかなか分からなかったんですが、ちょうどいい

● スライド11

**(2) タイ国 チャオプラヤ川洪水の推移予測 (平成23年)**

チャオプラヤ川流域に発生した大規模洪水に対して複数衛星を用いて6度にわたる広域撮影を実施

10<sup>th</sup>, Feb 2011  
11:00 (UTC)

10<sup>th</sup>, Oct 2011  
23:00 (UTC)

TerraSAR-X TerraSAR-X RADARSAT-2 TerraSAR-X

© PASCO CORPORATION 2011

● スライド12

**(2) 愛知県岡崎市 浸水災害 (平成20年)**

SAR衛星 (TerraSAR-X) による浸水領域の監視

①  
②

場所: 愛知県岡崎市

Date: 2008/08/30  
Path: Descending  
Angle: 28.3°  
Resolution: 2.96 x 3.09m

● TerraSAR-X衛星像から抽出された浸水領域  
■ レーダシャドウ領域

● 複数の浸水箇所を抽出  
● 衛星と反対側の山腹斜面が浸水範囲として抽出されるという問題点も確認  
→ 地形効果により後方散乱強度が小さく表現されるため

(社)日本リモートセンシング学会  
第45回(平成20年度秋季)学術講演会で発表

© PASCO CORPORATION 2011

タイミングでTerraSAR-Xが飛んできましたので、それで浸水エリアがバシッと宇宙から撮れたということでございます。(スライド12)

今現在、我々が使える光学衛星とレーダー衛星は大体これだけです。(スライド13、14) 日本も昨年、ASNARO計画の打ち上げが成功したのですが、まだ調整中ということで経産省からデータは一般公開されておりません。SAR衛星は世界中と言うか、地球上の4つの衛星のデータが我々は防災のときに使えることになっておりまして、何よりも昨年JAXAが「ALOS-2」の打ち上げに成功しましたので、この衛星データが使えます。(スライド17) これらはバンド(周波数帯)がそれぞれ違って、Xバンド、Cバンド、Lバンドというふうに書いてありますが、これは後ほども出てくるので、ちょっとこの図でイメージしておいていただきたいんですが、大体センサによって異なった電磁波を使うのですが、紫外線からマイクロ波までのうち、レーダ衛星はマイクロ

● スライド13

**(1) 現在、使用可能な主要「光学衛星」の特徴**

衛星/センサー	写真	開発国	打上げ	観測幅 (低下)	空間分解能
GeoEye-1 (ジオアイワン)		米国	2006年	15km	0.5m
RapidEye1~5 (ラピットアイ)		ドイツ	2008年	77km	5m
WorldView-2 (ワールドビューツー)		米国	2009年	16km	0.5m
Pleiades-1a (プレアデス)		フランス	2011年	20m	0.5m
Spot-6 (スポットシックス)		フランス	2012年	60km	1.5m
WorldView-3 (ワールドビュースリー)		米国	2014年	13.1km	0.3m
ASNARO (アスナロ) ~調整中~		日本 経済産業省	2014年	10km	0.5m

© PASCO CORPORATION 2011

● スライド14

**(2) 現在、使用可能な「レーダー衛星(SAR衛星)」の特徴**

衛星/センサー	写真	開発国	打上げ	波長	観測幅	空間分解能
COSMO-SkyMed (コスモスカイメッド)		イタリア	2007年	Xバンド (約3cm)	10km- 200km	1m-30m
TerraSAR-X (テラサーエックス)		ドイツ	2007年	Xバンド (約3cm)	4km- 270km	0.25m- 40m
Radarsat-2 (レーダサットツー)		カナダ	2007年	Cバンド (約5cm)	18km- 500km	1m-100m
ALOS-2 (エロスーツ)		日本 JAXA	2014年	Lバンド (約24cm)	25km- 490km	1m-100m

© PASCO CORPORATION 2011

の波を使っています。(スライド15) また、後ほど出てくるレーザープロファイラとかMMSというのは、近赤外線を使います。光学衛星とかカメラは可視光線。それで可視光線の中でも、この緑の532nmという緑の波長レーザを使ったのが後ほどお話をするALBというように、その使う電磁波の波長でいろいろ特徴が出てくる。マイクロ波の中でもXバンドが一番短く、Lバンドはかなり長いバンドで、一般的にはXバンドの方が精度がいいです。かなり精度がいいんだけど、葉っぱで反射してしまう。Lバンドは若干フットプリントが大きくなってしまいますが、透過して地上に達する率が高いということで、それなりのメリットがあります。(スライド16)

これは去年の長野県北部の地震のときの干渉波を使った干渉SARの図なんですが、地震前と地震後のSAR画像を干渉させて、これを判読して国土地理院は大体8cm隆起したということを発表しました。(ス

ライド17) また今現在も大涌谷で噴火活動が続いていますが、そこでもALOS-2を使って判読しまして、国土地理院は大涌谷で6cm隆起しているという発表をしています。これは年輪を数えるようなやり方で高さを、それで私はちょっと6cmというのは本当かな、答えありきかなという若干の疑問を持っていますけれども、それにしても数cmレベルで分かるのであれば、将来は堤防管理に使えるのではないかなという気もします。

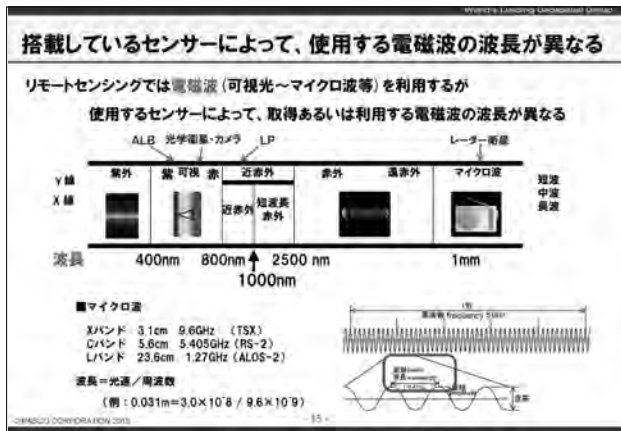
またSAR衛星でもこの中国の四川の大地震のときは、地震直後と1カ月後で2時期の重ね合わせをしました。(スライド18、19、20) それで、これぐらいのレベルで2時期の重ね合わせスタック画像ができますので、それなりに河床の変動もある程度、砂州とか中州の変状のモニタリングには使えるんじゃないか、ということで、衛星データといっても2種類あるということをちょっと覚えておいていただき

たいと思います。

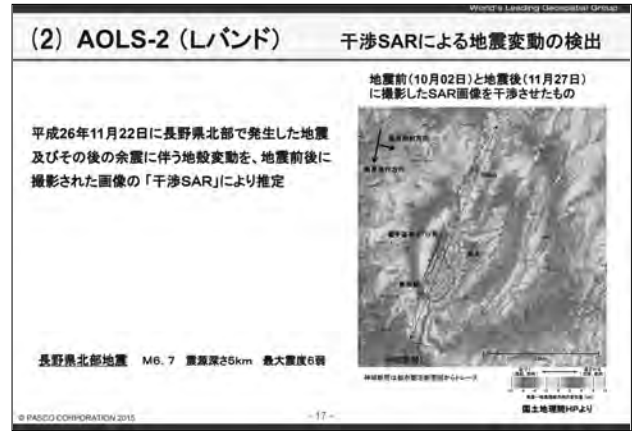
次に航空写真ですけども、これは航空機に搭載するセンサで、従来の航空測量は垂直写真のみだったのですが、このカメラは「オプリークカメラ」と言ひまして、同時期に斜め方向の4枚の写真も一度にバシッと同時撮影する機械です。これは非常に精密な航空写真ですので、横方向・側面も見ることができます。(スライド21、22、23、24)

これは日本橋の水門付近なんですけど、かなり解像度が高いので、細部も画像でチェックすることが可能です。元画像も拡大するとこれぐらい、cmオーダーで解像度が出ますので、水門、樋門、樋管の状態チェックには使えるんじゃないかと。この精度についても現在、国土地理院で公共測量の17条申請が認められるという動きが出てきておりますので、これは将来的には一般的な航空写真に代わる撮影技術になる。今は東京都もどんどん撮っていますし、東京

● スライド15



● スライド17



● スライド16



● スライド18





オリンピックに向けてオペリックカメラによる三次元画像の作成というのがどんどん進んでいるという状況です。

PALS (Portable Aerial photography and Locator System)、これは携帯型の斜め写真撮影システムで、ヘリに搭載するポータブルな撮影システムです。(スライド25) カメラとレーザ測距儀をハンドルにくくりつけて、それとパソコンをつないだという非常に単純な機械で、持ち運びができてフリーハンドで撮影するのですが、シャッター操作をパソコンの方でやりますので、きれいに同期させることができます。つまり写真を撮ると同時に、写真画像の真ん中の地点の緯度・経度・標高が画像データに記録されますので、着陸と同時にGoogle Earth上に、あるいは電子国土上に、どこからどこを撮ったかというのがきれいに整理されて出る。災害で飛んだときはこの整理がけっこう大変なんですけど、これが一度にできて、

ここをポップアップしたらその写真が出るということで、非常に整理が簡単です。と同時に、パノラマ写真も簡単に作成できるということです。(スライド26、27)

パノラマ写真だけでなく、これは広島災害のときのものですが、3D画像も作成できますので、自在に視点を変えてその場所の被災状況というか、状況

● スライド21

**(3) 航空写真(垂直撮影)の最新技術オペリックカメラ**

オペリックカメラは、5方向(直下視・前方斜め・後方斜め・右斜め・左斜め)の写真と同時に撮影することにより、建物のすべての壁面を効率よく撮影できる。

さらに、複数の写真画像より3次元地形モデルを半自動的に作成することも可能。

撮影機材名: PCDSO Oprek  
カメラ部がシステム一式

PCDSO オペリックカメラ (Oprek) は、275kg と軽量化を実現し、5方向(直下視・前方斜め・後方斜め・右斜め・左斜め)の5方向を同時に撮影できる。また、撮影した画像を半自動的に3次元地形モデルを作成することも可能。

オペリックカメラとは、直下方向に加え、斜め方向を5方向にカメラを制御(前・後・左・右) 撮影したカメラのこと。

© PASCO CORPORATION 2015

● スライド19

**平成20年 中国・四川大地震** 2時間のSAR衛星 (TerraSAR-X) 画像による解析

モニタリング(2時期の変化比較)

唐家山土砂ダム  
の湛水域

2時期差分  
場所: 中国四川省北川地区  
First Image  
Date: 2008/5/16  
Path: Descending  
Angle: 42.9°  
Resolution: 2.95 × 3.09m  
Second Image  
Date: 2008/6/18  
Path: Descending  
Angle: 42.8°  
Resolution: 2.95 × 3.09m

※ 後方斜視 西→東  
※ 前方斜視 西→東

© PASCO CORPORATION 2015

● スライド22

**(3) オペリックカメラでの撮影事例**

浜離宮水門 (解像度=7.0cm)

© PASCO CORPORATION 2015

● スライド20

**平成20年 中国・四川大地震** 2時間のSAR衛星 (TerraSAR-X) 画像による解析

モニタリング(2時期の変化)

唐家山土砂ダム  
排水対策前後

2時期差分  
場所: 中国四川省北川地区  
Date: 2008/5/16  
Path: Descending  
Angle: 42.9°  
Resolution: 2.95 × 3.09m  
Second Image  
Date: 2008/6/18  
Path: Descending  
Angle: 42.8°  
Resolution: 2.95 × 3.09m

※ 後方斜視 西→東  
※ 前方斜視 西→東

© PASCO CORPORATION 2015

● スライド23

**(3) オペリックカメラでの撮影事例**

日本橋水門 (解像度=7.0cm)

© PASCO CORPORATION 2015



を確認することができるということで、これもけっこう今のところ災害時に大活躍しており、既にNEXCO東日本では高速道路の路線の日常点検にこのシステムを導入しています。(スライド28) 大体1,600万画素ですので、イメージとしてフルハイビジョンよりも8倍緻密な画像ということですから、かなりの部分分かるんですね。だから、高速道路の施設点検には既に実用化されている技術ということで、河川でも四国地整では吉野川第十堰辺りまで、これで全部撮ったデータを河川部でお持ちです。

航測レーザ、いわゆるLP (Laser Profiler) ですが、これも河川分野でも2005年からやりだしまして、既に10年の実績があります。精度やフィルタリングの技術もどんどん向上してきています。航空機からレーザを照射して、その反射波で地表面を計測し、同時に光学カメラで垂直写真も撮影するというものです。(スライド29、30) 当時河川局でやりだした

頃は大体1秒にレーザを20万発、30万発と言っていたんですが、今や70万発以上打つということで、相当精度もよくなってきているし、フィルタリング技術も向上してきている。それぞれの精度に応じてセンサや高度を変えて計測するわけですが、精度を上げると同時に単価も下がってきて、既に河川分野でもけっこう使われ始めています。ただし、こ

● スライド24

**(3) オブリークカメラによる撮影事例**

航空機に搭載した専用カメラで1ショットで5方向(直下、前後左右の斜め)を同時撮影。

地上解像度は直下視で7cm、斜方視で10数cm程度と高解像度の撮影が可能。(但し、対象地区の地形や航空管制により制約を受ける場合がある)

豊津橋南詰  
(北側からの斜め画像を拡大)

日本橋水門下流側  
(南側からの斜め画像を拡大)

© PASCO CORPORATION 2015

● スライド25

**(4) 携帯型斜め写真撮影システム(PALS)**

Portable Aerialphotography and Locator System

システムは高性能カメラとレーザ測距儀をハンドルに取り付けた撮影装置、ノートパソコンを主体とした制御装置、モニターを主体とした地図表示装置の3つの機材で構成される。

小型軽量で、携行性、操作性に優れており、高精度・高感度のデータが取得できる。

撮影者はフリーハンドでハンドルの親指操作によりシャッター操作やマーキング作業をすることが可能で、撮影と同時に撮影箇所の位置データが計測記録される。

(特許第5373140号ほか)

© PASCO CORPORATION 2015

● スライド26

**(4) 携帯型斜め写真撮影システム(PALS)**

Portable Aerialphotography and Locator System (特許第5373140号ほか)

高性能カメラとレーザ測距儀をハンドルに取り付け、それをノートパソコンに接続した、簡単なシステム。

撮影されたデータは専用ソフトで取り出して、Googleアースなどで撮影位置と画像位置を表示・検索することができる。

- ・撮影データを加工して容易に高精度のパノラマ写真等を作成できる
- ・あるいは特定エリアの3D画像を作成することも可能

© PASCO CORPORATION 2015

● スライド27

**(4) PALSによる撮影事例**

伊豆大島災害や広島災害の発生時に政府の災害対策本部等で活用された。

南木曾町梨子沢で発生した土石流災害の3Dモデル

3Dモデルなので自在に視点を変えての確認が可能

左：上空からの俯瞰、中央：地上目録での深達内部、右：詳細撮影の破壊状況

© PASCO CORPORATION 2015

● スライド28

**(4) PALSによる撮影事例**

撮影されたデータは着陸後すぐにKMLやShapeファイル形式で出力することが可能。Google EarthやGISソフト上での検索が可能。

NEXCO東日本では日常の路線点検に導入している。

高解像度、1620万画素  
=> 1km先の被写体なら1画素10cm

※ フルハイビジョン動画(1920×1080)  
= 200万画素

3.11 直後の石巻市

© PASCO CORPORATION 2015

れの欠点として、水の中が全然計測できないんですね。水中部はレーザが透過しないから計測できない。

そこで、水中を透過して河床部まで測れる、近赤外レーザは水面で全部反射してしまうんですが、緑のレーザは水面を通過して河床まで到達するというので、この緑波長のレーザを使ったセンサ「ALB(航空レーザー測深器 Airborne Laser Bathymetry)」が現在登場しております。(スライド31) 我が国では海上保安庁が所有しております、沿岸部の計測には既にかなり実績があるわけなんですけれども、これを河川でも使えないかということで、2011年から3年間、河川砂防技術研究開発制度を使った試験が実施されました。(スライド32~36) 当初は国内免許が下りずにカナダで実施したりしていたのですが、2013年は国内でも免許が下りまして、鳥取の千代川、兵庫の揖保川、四国の吉野川の3河川で実証実験を実施しました。あまり詳しく説明する時間はありませんが、こういう堰の付近の洗掘状況とか、河床の地形が鮮明に、あるいは詳細に取得できております。構造物の下流のこういう複雑な地形はなかなか実測でも難しいんですけれども、その辺の地形もきれいに再現されています。

昨年度と今年度は「社会インフラのモニタリング技術の活用・推進に関する技術研究開発に係わる公募」、これに引っかかっておりまして、現在2カ年で実証実験を実施中です。(スライド37) ちょうど2年前に撮ったものと同じ場所を撮っていますので、今年度はこれの差分もやってみるというプログラムになっていますが、2年前に比べてもかなり精度がよくなってきていますので、かなり急速に発展途上中の技術であると思います。

これはけっこう使えるのではないかとということで、国交省水管理・国土保全局も力を入れて実証実験をされていますが、とにかく高精度な縦横断データが三次元にシームレスに取得できる。ただし、濁りに弱いんですね。茶色の水とか出水中の河川では緑色レーザが透過しませんので、大体検証結果で水深が6~8mより深くなると欠測が生じている。そ

れで、機器が非常に高いので、まだ国内では民間で保有している業者はほとんどいない。コストをモデル河川で検証した結果、大体55%ぐらいで実施できる。つまり、これまでの方法に比べて45%ぐらいのコスト削減ができたということですが、川幅が狭くて蛇行している河川では、逆に135%ぐらい経費がかかるというような河川もあり、大体全国平均すると現在よりもコスト縮減が可能であるという試験結果が出ています。ALBで100%代替するというのは難しいんですけれども、マルチソナーと組み合わせたり、あるいは補完的な現地測量を実施することで非常に適用性が高い技術ではないかと思えます。(スライド38)

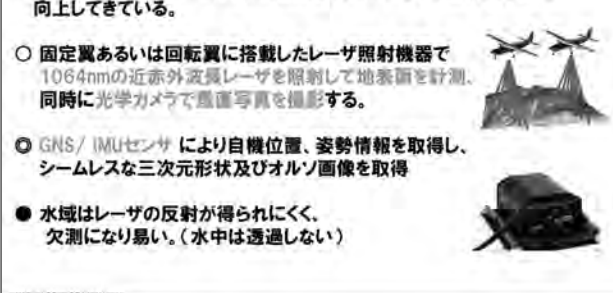
マルチソナーというのは、これは今のALBと違って音波を使った音波計測器です。(スライド39) 船の横に艀装しまして、扇状に音波を発信してシームレスな三次元形状を取得します。これは動揺センサ

#### ● スライド29

(5) 航空航測レーザ(近赤外LP=Laser Profiler)の概要

- 河川分野では2005年頃から活用され始め、その後、砂防分野などで一気に計測実績が増え、計測精度やフィルタリング技術も大幅に向上してきている。
- 固定翼あるいは回転翼に搭載したレーザ照射機器で1064nmの近赤外波長レーザを照射して地表面を計測、同時に光学カメラで鳥瞰写真を撮影する。
- GNS/IMUセンサにより自機位置、姿勢情報を取得し、シームレスな三次元形状及びオルソ画像を取得

● 水域はレーザの反射が得られにくく、欠測になり易い。(水中は透過しない)



#### ● スライド30

(5) 航空航測レーザ(近赤外LP)による河川計測

◆ 河道や氾濫原を面的に計測し、三次元地形モデルを作成。



- ・ 計測標高精度：標準偏差 0.25m 以内  
測量作業規程の準則の制限値  
横断測量成果との標高較差：0.33m以内
- ・ 点密度(精度1m)：1m<sup>2</sup>に1点  
欠測率(1mメッシュ内にレーザ点が無い割合)：0.39%

微地形解析図

砂州の形状・高さ等を取得することが可能。



とか方向センサで揺れの補正を行いますので、非常に正確に出てきます。ここが今の水中ロボットではまだ追いつけない技術で、まだ十分マルチセンサの活躍の場はある。相当に深いところまで測れて、河口部ではそれなりに実績が出ているんですが、逆に浅いところでは測れない。(スライド40~43) 測れたところでは非常に地形等の分解能はいいのです

が、1mよりも浅くなると物理的に船が航行できないので測れなくなるということです。測ったところはこれも面的にシームレスに測れますので、2時期の差分図の作成等も可能になってくる。ただし、こういう構造物の周辺はなかなか船の航行も難しいし、そういう意味ではやや効率が悪くなるという傾向があります。

● スライド31

**(6) ALB(航空レーザー測深機)の概要**

- ALB(Airborne Laser Bathymetry)とは532nmの「緑」波長の水中を透過するレーザーを照射
- 主に固定翼に搭載し、水中・河床を含むシームレスな三次元形状及び簡易オルソ画像を取得
- GNSS/IMUを搭載
- ◎ 海岸・海洋分野での計測実績が豊富(海上保安庁)
- SS濁度が高い河川やフミン酸質が多い(茶色)河川では緑レーザーが透過せず欠測になりやすい

計測イメージ  
緑レーザー 近赤外レーザー  
河床で反射 水面で反射  
水面 河床

● スライド34

**(6) ALBによる河床地形の計測** 河川砂防技術研究開発制度 2011年度~2013年度

撮保川

堰付近の洗掘状況を計測出来た

● スライド32

**(6) ALBによる河床地形の計測** 河川砂防技術研究開発制度 2011年度~2013年度

セントローレンス川

測線7 測線4 測線1

水深 (単位:m)  
11 ~ 10  
10 ~ 9  
9 ~ 8  
8 ~ 7  
7 ~ 6  
6 ~ 5  
5 ~ 4  
4 ~ 3  
3 ~ 2  
2 ~ 1  
1 ~ 0  
0 ~ -1  
-1 ~ -2  
-2 ~ -3  
-3 ~ -4  
-4 ~ -5  
-5 ~ -6  
-6 ~ -7  
-7 ~ -8  
-8 ~ -9  
-9 ~ -10  
-10 ~ -11  
-11 ~ -12  
-12 ~ -13  
-13 ~ -14  
-14 ~ -15  
-15 ~ -16  
-16 ~ -17  
-17 ~ -18  
-18 ~ -19  
-19 ~ -20  
-20 ~ -21  
-21 ~ -22  
-22 ~ -23  
-23 ~ -24  
-24 ~ -25  
-25 ~ -26  
-26 ~ -27  
-27 ~ -28  
-28 ~ -29  
-29 ~ -30  
-30 ~ -31  
-31 ~ -32  
-32 ~ -33  
-33 ~ -34  
-34 ~ -35  
-35 ~ -36  
-36 ~ -37  
-37 ~ -38  
-38 ~ -39  
-39 ~ -40  
-40 ~ -41  
-41 ~ -42  
-42 ~ -43  
-43 ~ -44  
-44 ~ -45  
-45 ~ -46  
-46 ~ -47  
-47 ~ -48  
-48 ~ -49  
-49 ~ -50  
-50 ~ -51  
-51 ~ -52  
-52 ~ -53  
-53 ~ -54  
-54 ~ -55  
-55 ~ -56  
-56 ~ -57  
-57 ~ -58  
-58 ~ -59  
-59 ~ -60  
-60 ~ -61  
-61 ~ -62  
-62 ~ -63  
-63 ~ -64  
-64 ~ -65  
-65 ~ -66  
-66 ~ -67  
-67 ~ -68  
-68 ~ -69  
-69 ~ -70  
-70 ~ -71  
-71 ~ -72  
-72 ~ -73  
-73 ~ -74  
-74 ~ -75  
-75 ~ -76  
-76 ~ -77  
-77 ~ -78  
-78 ~ -79  
-79 ~ -80  
-80 ~ -81  
-81 ~ -82  
-82 ~ -83  
-83 ~ -84  
-84 ~ -85  
-85 ~ -86  
-86 ~ -87  
-87 ~ -88  
-88 ~ -89  
-89 ~ -90  
-90 ~ -91  
-91 ~ -92  
-92 ~ -93  
-93 ~ -94  
-94 ~ -95  
-95 ~ -96  
-96 ~ -97  
-97 ~ -98  
-98 ~ -99  
-99 ~ -100

● スライド35

**(6) ALBによる河床地形の計測** 堰付近の河床地形

撮保川

● スライド33

**(6) ALBによる河床地形の計測** 河川砂防技術研究開発制度 2011年度~2013年度

<p>千代川 下流 (KP19K000~19K000) 上流 (KP20K000~22K400)</p> <p>2013年8月29日計測</p>	<p>攝保川 (KP19K400~19K000)</p> <p>2013年10月21日計測</p>	<p>吉野川 下流 (KP14K000~11K000) 上流 (KP14K000~18K000)</p> <p>2013年10月22日計測 2013年11月06日計測</p>
----------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------

※各計測結果：陰影標高図形で表示

● スライド36

**(6) ALBによる河床地形の計測** 河川砂防技術研究開発制度 2011年度~2013年度

14K300付近 笠野川 第十橋

構造物下流側の地形状況

魚道

次にMMSです。これは冒頭、専門官の方からご紹介があった技術で、レーザスキャナと光学カメラを搭載した移動計測車両システムというシステムです。(スライド44~47) 車両で走行してレーザと光学カメラでデータを取得します。既にもう道路分野、都市計画分野では非常に具体的にいろいろなところで使われ始めていますが、これが河川でも使えない

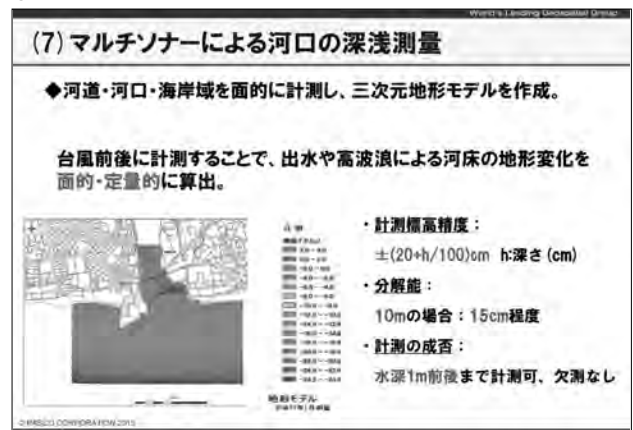
かということで、河川砂防技術研究開発制度を活用して2011年~2012年の2カ年で京都大学、パスコ等で適用性の実地検証を行いました。(スライド48~51)

こういうようにザーッと映しながらレーザを照射して測っていきます。先ほど専門官が言われたように、ここから発射するとかなり効率が悪い。こっち

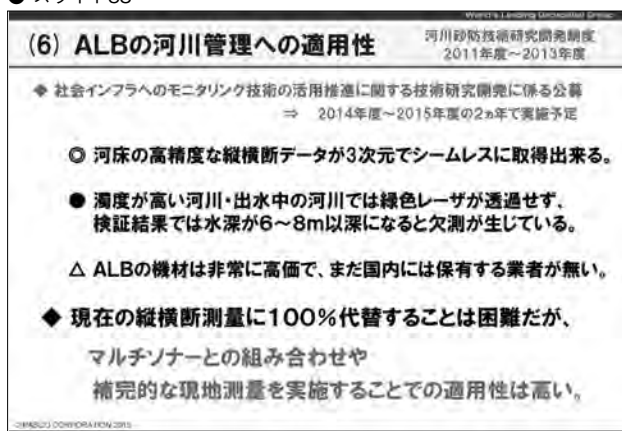
● スライド37



● スライド40



● スライド38



● スライド41



● スライド39



● スライド42



から発射したらもっとモグラの穴まで分かるんですが、こう発射するという構造になっているものから、なかなか堤防勾配によっては測れないところがあるというところが出てくる。こういうセンサをいろいろ積み込んだ特別な車両を作って、それで測っているわけなんです。

当たり前のことなのですが、植生とかパラペット

があって、物理的に見えないところは測れないので、橋脚部とか何とかなはこのUAV、あるいはハンディレーザー等補完する技術を併用しながら実地検証を行っているという状況です。

それをこういう標高断面図で表してみますと、なかなかこういうところは目視では陥没箇所なんかも分からないのですが、断面図では非常にはっきりと

● スライド43

**(7) マルチセンサーによる橋脚洗掘の計測**

- 河床形状、橋脚洗掘形状を面的に把握することが可能。
- しかし、水深が浅い場合、1コースあたりの計測面積が狭くなる。
- 水深が浅い河川や堰・落差工が多い河川での計測は非効率。

● スライド46

**(8) MMS (移動計測車両システム)の概要**

- GNSSアンテナ 2台
- Trimble 測量機器
- GPS及びGNSS (GNSS) 対応
- 慣性計測装置 (GNSS/IMU) 1台
- Aerialis社 POSLV500
- 距離計測計 (オドメトリ) 1台
- Trimble 測量機器
- レーザーセンサー 1台
- RIEGL VQ450
- 高解像度カメラ (前方・側方) 8台
- PointLiney Crashboxer
- 車内記録ユニット

● スライド44

**(8) MMS (移動計測車両システム)**

→ レーザスキャナ及び光学カメラを搭載した移動計測車両システム

車両で走行して、レーザスキャナにより空間の三次元形状をシームレスに取得同時に連続的なカメラ画像を取得する

河川砂防技術研究開発制度を活用して2011年度～2012年度の2ヵ年で京都大学とパスコ等が共同で適用性について実地検証

● スライド47

**(8) MMSの補完技術として使用する新探査技術機器**

機器	スペック
UAV DJI社製800EVO 搭載カメラ SONY社製α7R	<ul style="list-style-type: none"> <li>飛行速度：平均14.4km/h</li> <li>17分～10分程度飛行可能 (10km程度移動可能)</li> <li>対地高度30mの場合</li> <li>分解能：4.2mm/pixel</li> <li>撮影面積635m<sup>2</sup></li> </ul>
赤外線カメラ FLIR社製T640	<ul style="list-style-type: none"> <li>分解能：640×480ピクセル</li> <li>温度分解能：0.035℃ (30℃の場合)</li> <li>計測温度範囲：-40～650℃</li> </ul>
ハンディレーザー ZEB1 レーザー部 北極電機社製UTM-30LX	<ul style="list-style-type: none"> <li>スキャン角度270°</li> <li>角度分解能0.25°</li> <li>計測距離0.1m～30m程度</li> <li>データ収録速度43,200点/秒</li> <li>計測可能時間：20分程度</li> <li>GNSS/IMU未搭載</li> </ul>

● スライド45

**(8) MMS (移動計測車両システム)**

・ レーザ計測

機器仕様：照射高 3.6m、RIEGL VQ450 55万発/秒

・ 連続画像撮影 (側方三連カメラ)

・ 連続画像撮影 (前方三連カメラ)

● スライド48

**(8) MMSによる堤防点検** ◆ 高精度で連続的にデータ取得

天端走行時の計測結果：  
標高誤差の標準偏差10cm以下。

前方カメラ画像

陥没工 標高断面図 天端 小段



出てきますので、まず断彩図で抽出して、それをカメラ画像で確認するという方法で、かなり漏れなく見ることができる。ただ、先ほど言いましたように、勾配によっては非常にレーザの点間隔が広がってしまうので、細かいものまでは見えません。

それで、従来の目視点検とMMS天端走行による点検との比較ですが、この河川Aというのは利根川上流です。今日は副所長が来られてますけれども、利根川上流は大体7割堤ぐらいだとほぼ100%抽出できる。それで河川Bは荒川下流ですね。一部4割堤はあるのですが、2~3割の自然堤がかなり残っている場所で、そこだと60%。それで見えないところ、死角になる場所を補正しても大体80%ぐらいまでは分かるけど、10箇所のうち2箇所ぐらいは見逃すというような結果で、なかなか河川の状況によって使い方を考えないといけないという検証結果が出ております。

● スライド49

**(8) MMSによる堤防点検** ◆ 従来点検では記録されない変状を検出

レーザ点群で作成した「標高彩影図」により法面や天端の不陸を検出、カメラ画像で確認

● スライド50

**(8) MMSによる堤防点検結果**

◆ 計測結果: 15km/hで走行 (縦断方向のレーザ点間隔約8cm)

注目勾配	10m	100m	1000m	10000m	100000m	1000000m	10000000m
天端不陸	1.4	3.1	7.0	22.2	40.5	49.5	178.7
法面不陸	1.0	2.2	5.1	16.8	30.8	37.8	137.9
天端陥没	1.0	2.1	4.9	16.1	29.7	36.4	133.0
法面陥没	0.9	2.0	4.7	15.5	28.6	35.1	128.7

◆ 従来目視点検結果とMMS天端走行による点検との比較

項目	従来目視点検	MMS天端走行	検出された変状	検出されなかった変状
河川A	3 (7)	3	100	0
河川B	18 (34)	11	61	7

河川Aは多次法面を有する土堤、河川Bは小窪やトラバットを有する都市河川

先ほど専門官の言われたとおりなのですが、パラペットや植生等で死角が発生するところはしょうがないんですが、植生の繁茂期はその地表面を捉えることが難しいので、除草と合わせてということ、実施のタイミングが限られている。そのかわり大きなメリットとして、この取得データを内業でさまざまな形式に加工することができる。データベースとしてきっちり残しておくことができるということ。また、はらみ等の検出に有効で、アスファルトだったら1mm程度でも判読可能ということですが、これもほかの手段で補完することで、目視では捉えにくい変状を効率的にばらつきなく把握することが可能です。この「効率的にばらつきなく」というのが私は非常に大事だと思います。ヒューマンエラーによる見逃しとか、経験や人によってばらつきがあるという点検ではちょっと信頼性に欠けるということですので、効率的にばらつきなくシームレスでデー

● スライド51

**(8) MMSの河川管理への適用性**

～昨年度から各地盤で試用開始～

- パラペットや植生等で死角領域が発生する。
- 植生の繁茂期は地表を捉えることが困難。
- 取得したデータを内業で様々な形式に加工することができる。
- 堤防天端や法面の面的な変状(陥没やはらみ)などの検出に有効。
- 天端のアスファルトのひび割れは1mm程度でも判読可能。

◆ 現在の堤防点検に100%代替することは困難であるが、他の手段で補完することで、目視では捉えにくい変状を効率的にばらつき無く把握することが可能。

● スライド52

“調和”のとれた「管理」、「計測」をめざして

河川管理「目標」をはっきりと設定し

「治水・利水・環境」の調和  
「上流域・下流域」の調和

労力・コスト

計測の「手段・方法」を選定する

「計測精度」の調和  
「コストとベネフィット」の調和

精度・解像度  
情報量・頻度

タが取得できるという意味では、非常に有効な手段ではないかと考えます。

以上、最近のリモートセンシング技術について、主に他部門で実用化されつつあるので、河川分野でも使いませんかというものについてご紹介しましたけれども、冒頭でお話をしましたとおり、まず実現可能なバランスのとれた河川管理の閾値と言うか、目標をはっきりと設定して、それに対してこれまで続けられてきた維持管理の計測は適切なものなのかどうか。計測結果が十分に河川管理の目的に活用されているのか。今やっていることで無駄なものはないか、不足しているものはないか。コストと精度、情報量、頻度は適正か。河川管理の目的に鑑みて調和が取れているか、ということをしっかりと見定めていく必要があります。(スライド52、53)

部分的に見ると非常にうまく説明はできて、全体のバランスを見るととても奇妙で不合理ということにならないよう、最新技術を積極的に取り入れつつ、河川管理の何たるかということを見失わないように、管理のあり方、新しい基準、方法を考えていければというように考えております。以上です。ありがとうございました。

安原 ありがとうございます。非常に有用な技術をたくさんご紹介いただいたところでございます。

それでは続きまして地中、不可視部分についての

● 写真2



● スライド53

“調和”のとれた「管理」、「計測」をめざして

河川管理「目標」をはっきりと設定し

- 「治水・利水・環境」の調和
- 「上流域・下流域」の調和

計測の「手段・方法」を選定する

- 「計測精度」の調和
- 「コストとベネフィット」の調和

Penrose Triangle 部分的には正しいように見えるが、全体としては明らかにおかしい。

状態把握技術を中心にいたしまして、リバーテクノ研究会の三木委員長と佐藤委員にご発表をよろしくお願いいたします。

# 河川の維持管理に活用が考えられる 状態把握技術の事例

(一社)リバーテクノ研究会 技術開発委員長 **三木 博史**  
(一社)リバーテクノ研究会 地盤WGリーダー **佐藤 謙司**

三木 まず、リバーテクノ研究会ですが、最初のパワーポイント2枚ほどにちょっと組織について書いています。それで、8年ぐらい前から活動を続けてまして、主に地域防災と言うか、水防の新技术ということを中心に開発してきています。今回、関理事長、それから安原所長から、「財団の自主研究もちょっと手伝え」ということで、こちらの公物管理の研究をリバーテクノ研究会がやっているわけではないんですが、会員企業に地盤コンサルタント5社ございまして、それで建コンさんも皆さん揃ったわけですね。それで「組織的にポテンシャルが高いので、手伝うように」とありがたいご下命をいただきました。感謝申し上げます。(スライド1、2)

まず、共通的に認識しておきたいことなんですが、絞り込みですね。安原さんから先ほど言われた、絞り込みをどう効率的にやったらいいかということなんですが、まず一番大事なのは堤防というのは非常に素直ですから、一番弱いところからやられていくんですね。だから相対的に弱いところを見つけて手当てする。あるいは、弱いところからやられますから、そこで災害が起こる。その災害を手当てする。そういうことを積み重ねていくことで、過去、先人たちが堤防の安全性を少しずつ高めてきたんですね。それが本質なんです。ですから、一番弱いところ、あるいは相対的に弱いところを見つけて手当てしていく。そういうことが基本だということで、そういう絞り込みにちょっと役立つ技術を幾つか見つけてきましたので、地盤WGのリーダーをさせていただきます。佐藤 佐藤でございます。それでは早速、進めさせていただきます。

今回、そういう状態を把握するということに対して、有効な技術を何かご紹介できないかということで、今日は全部で7つの事例をお持ちしております。順番にご説明させていただきます。(スライド3)

それで1つ目はまず、先ほどもご紹介がありました、LPデータによる地盤標高を使う。(スライド4)我々は危険な場所を抽出するときに、治水地形分類図、いわゆる微地形を使って危険な場所を考える。そういうときに、やっぱり今はレーザプロファイラとか非常に精密な地盤高のデータがあると、この例

## ● スライド1

**一般社団法人リバーテクノ研究会の概要**

目的: 各界との知的連携を図り、丈夫で、有用かつ美しい環境に配慮した河川の防災に関する技術を開発するとともに、その普及を図り、もって地球環境の保全と安全で安心な国づくりとそれを担う人づくりに寄与する

会長	中川 博次	京都大学名誉教授
特別技術顧問	手野 尚雄	岐阜大学名誉教授
	蓮上 正博	高松大学名誉教授
	関宮 清	
技術顧問	山田 正	中央大学教授
	中川 一	京都大学教授
理事長	野丸 徳治	(社)日本技術士会 相談役
技術開発委員長	三木 博史	元土木研究所 技術推進室長
法人正会員	21社	
個人正会員	5名	

## ● スライド2

**リバーテクノ研究会会員企業**

減災WG	地盤WG	材料WG
いであ(株)	応用地質(株)	旭化成ジオテック(株)
(株)建設技術研究所	川崎地質(株)	シーアイ化成(株)
(株)東京建設コンサルタント	基礎地盤コンサルタント(株)	太陽工業(株)
日本工営(株)	(株)ダイヤコンサルタント	大日本プラスチック(株)
(株)ニュージェック	中央開発(株)	(株)田中
パシフィックコンサルタンツ(株)		東洋硝子(株)
八千代エンジニアリング(株)		三井化学産業(株)
		三菱樹脂インフラテック(株)
		ユニテカ(株)

(五十百頭)





では堤防沿いの地盤高を20cmピッチで色を変えているんですけども、相対的に低い場所が白く線で示されます。そういうことで抽出ができたりする。

これはまた別な例ですけども、川がこちら側にあるんですけども、堤防がここにあって、これを見ていただくと分かりますが、ここに旧河道があるんですね。それで当然そういう旧河道のところの堤防の法尻というのは低い。そうすると、この低みというのは微地形と関わりのある低みですから、それがやっぱり災害に対しての要注意要素というものが出てくる可能性があるということで、標高の高い・低いということと、地形的な解釈を絡めてやると、安全性の評価の1つの材料になるのではないかとこのように考えております。

それからこれは2つ目のご紹介ですが、簡易コーン貫入試験器、これは当リバーテクノ研究会で開発したものでして、「リバーテクノ・コーン」と呼んでおります。(スライド5) 要するに先ほど時岡さ

● スライド3



んの方からも、堤防表面の緩みという問題のお話がありました。今、現場で点検して歩くときにはいろいろなピンを刺してみたりとか、そういうことで緩んでいないかどうかというのを確認したりしております。それをもうちょっと、ちゃんとした数値が出るもので、コンパクトで持ち運べるもので測れるようにしようということで作ったものです。一人でこうやって試験ができます。これで大体、破線の入っているところでおよそN値1ぐらいというように思って見ていただければいいんですけども、表層の緩みがどの深さまであるかというようなことを、現場で持ち歩きながらチェックできるというものを作っております。

堤防が乾いているときというのは強度が比較的大きいんですけども、湿潤すると強度が低下するというような事例が報告されております。ですから、こういうものを普段と、出水時の点検等に持ち歩い

● スライド4



● スライド5



てやると、いろいろな現地の状況の把握に役に立つんじゃないかというように考えております。

それから3つ目、これは堤体内の水分状態のモニタリングということで、簡単に言えば電気探査で比抵抗を測るということです。(スライド6) 比抵抗を測るということ自体は、堤防内部の土質構成を把握するということでは今までも使われてきておりますけれども、今日はもうちょっと別の使い方をご紹介しますと思います。それで測り方もこうやって引っ張って測るものと、それから電極は固定しているんですが、それを高速でサンプリングして測るという2種類の方法があります。

これは降雨浸透のモニタリング事例ということで、高速でサンプリングする方を使って、雨がどのように浸み込んでいくかというのを測った例です。(スライド7) これをちょっと動画でご紹介しますと、今、上から雨が降ってきて、青いところがだんだん増えてきました。これが大体、雨が地中に浸透していつている様子なんです。そのときに逆に下の方の赤くなっているところというのは、言ってみれば上から雨が降ってきて、下には不飽和の空気のゾーンがあるという状況を示しております。それでだんだんと空気のゾーンが薄くなっていつている、浸透し終わるような状態になっていく、という変化を表しています。

それで、こういうモニタリングができると、例えば堤防の法面とかに雨が浸み込みやすいのか、あるいは河川水位が上がったときに堤体の中でどういう反応が起こるのか。さっきみたいに空気と水とそういう不飽和の状態から、飽和の状態に変化していく状態というのが把握できるということで、現象の解釈にも役に立つと思います。

それで例えばこれは堤防の高水敷なんですね。ここに堤防があって、この辺が堤防の表側の法尻で、つい直前まで法面に水がつくぐらい水位が上がっていた。水が引いた直後の高水敷です。ここを見てみると、ブクブクと泡が見えるでしょうか。要するに、先ほどまで河川水で水に浸かっていた高水敷、水が

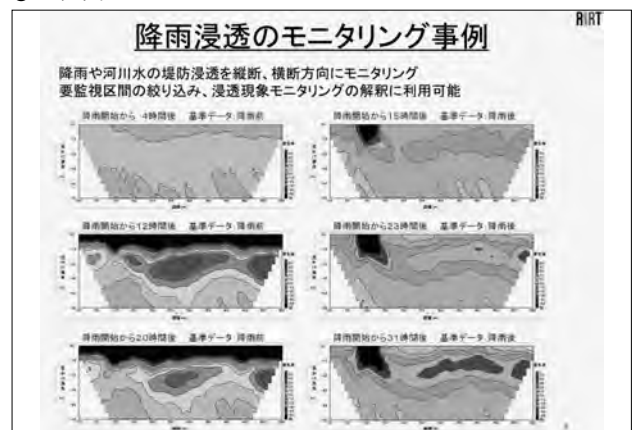
引いたんですが、まだその水が地下に向かって浸透しているんですね。そのときに逆に泡が出てきている。こういう現象なわけです。ですから、先ほどのモニタリングを見ていただくとどういうことが起きているかというのが、これはその現象が理解できると思います。

そうすると、例えばこのときに川裏側、堤内側の法尻で水がブクブク噴いている。よく洪水のときに水が噴いているのが見えて、基盤漏水が起こっているんじゃないかということが気になる場合があります。地元の方が、泡が吹いていたとか、そういうことを言ってこられたりすると思いますけれども、この例で言えばこの泡は水と空気が置きかわっている現象にすぎないわけですね。ただ場合によっては、川から水が基盤の中を通ってきて、下から水位が上がってきて空気が出てきている場合もあると。そういう場合だと次の現象としては、水が噴き出して、

● スライド6



● スライド7



噴砂になって、基盤漏水が発生するという進行性の場合になるかもしれない、ということがあります。ですからその辺は、やっぱりそれぞれの川の特徴がある、というように思いますので、それをいかに現象を把握するか、理解するかということにかかってくるんだと思います。

4つ目、堤体内水位のモニタリングということで、これは打ち込み式の水位計というもので、土木研究所さんと民間企業が共同で開発したものです。堤防の中の水位をボーリング機材を使わないで、もっと簡便な方法で打ち込んで観測井をつくるという方法で開発されたものです。(スライド8)

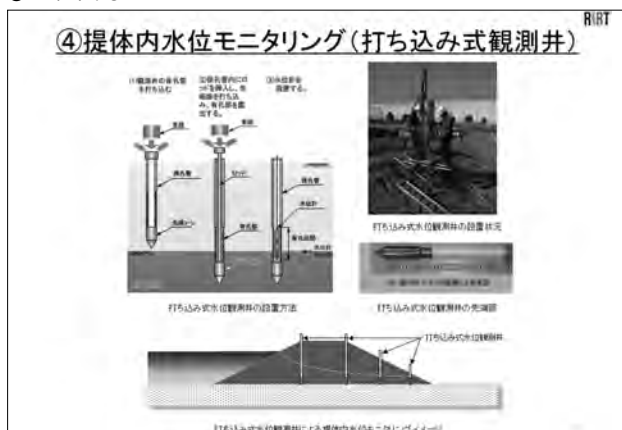
これはそれをマノメータで測った水位と比較したのですが、非常によく合致しているということで、こういう盛り土の中の水位把握には適した方法だというように考えております。(スライド9)

それから5つ目、簡易リリースウェルによる応急対策と被圧水モニタリングというものです。これはリバーテクノ研究会で「リリースウェル」というものを今、開発しております。(スライド10) これは、要は基盤が被圧したときに、その被圧した圧力だけを抜いてやって、砂も一緒に噴出してしまうと当然、基盤が緩んでしましますが、そういうことがなくて、水圧だけを逃すという構造を考えて今、作成しているものです。これも簡単に打ち込みでも設置できるようなものを考えております。ですから、そういう基盤の漏水が想定されるような場所で、普段はモニ

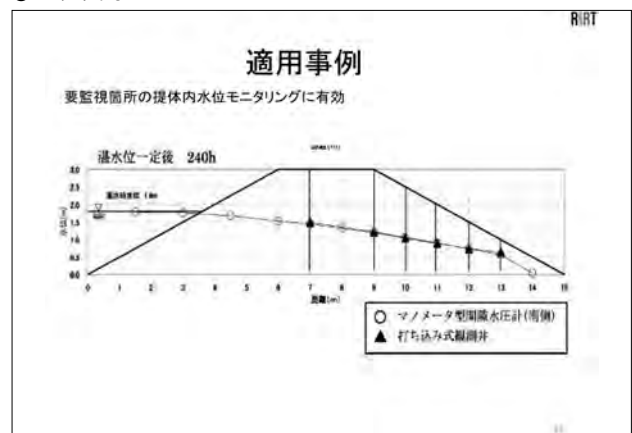
タリング孔としてこの水位計を入れて使っていただいて、それが万一の事態という時にはこのように水のうとか土のう、我々の研究会では「水のう」というのを作っておりますが、そういうもので水防にも応急対策として活用できるという構成を考えているものです。

これは実は川の表側では水位が2mぐらい上がっているんです。それで基盤に砂層があって被圧してあります。それで被圧している場所の堤内地盤、見ていただくと分かるでしょうか、ブヨン、ブヨンと跳ねていますね。下から被圧しているの、そこで跳ねると地盤も跳ねるんです。ここはそういうことが観察できるような場の条件だったということですが、ただ、このときにどれだけ被圧しているかというのが分からないわけですね。それがこの場にとって安全なのか、不安全なのか判断する材料がない。やっぱりこういう場所で何らかのデータをモニ

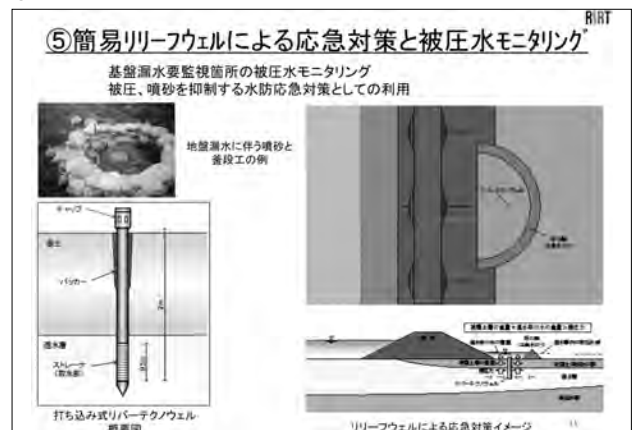
● スライド8



● スライド9



● スライド10



タリングして、いざとなったら水防として展開できるようにするという展開を考えると、モニタリングの重要性というの出てくるんじゃないかなというように思っております。

それで、これが研究会でつくっております「三角水のう」というものなんですけれども、堤防の上で水防用の土のうに代わる水のうとして使いますが、こうやって丸めて設置することで、月の輪とか釜段とかそういう形にして使うこともできるようになっています。(スライド11)

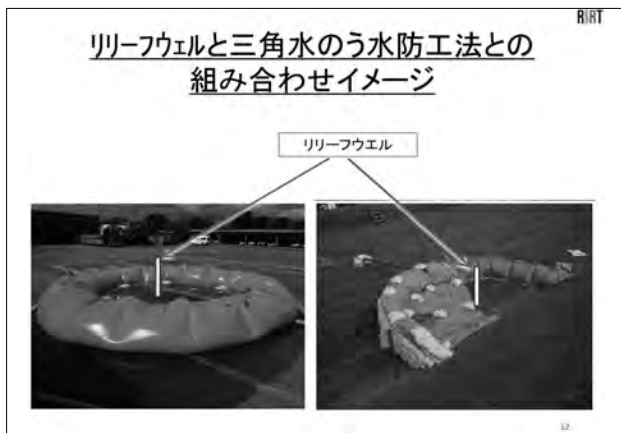
それから6つ目が漏水の簡易水質モニタリング、リバーテクノ研究会ではやっぱりゼロメートル地帯で地震が起こったり、高潮が来たりといったときの問題というのを今いろいろ考えております。(スライド12) ゼロメートル地帯には感潮河川が前面にある。そうすると河川水の塩分濃度というのはかなり高い。それで、そういった場所で普段は堤防の裏法



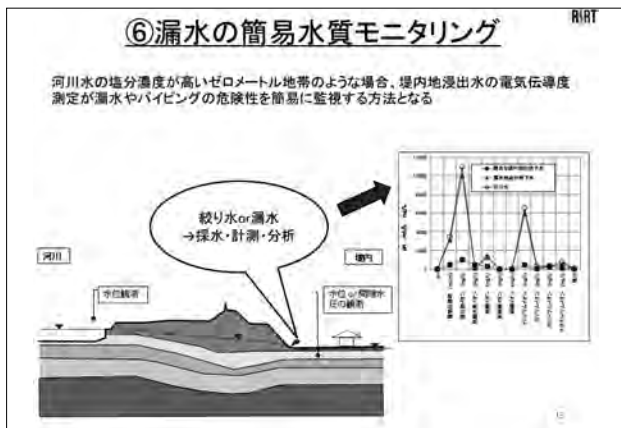
尻から浸み出して来ているのは、雨水の絞り水みたいなものなんですけれども、場合によってはその水質が河川水と同じように塩分を含んだものになる可能性があるということで、そういうものを簡単にモニタリングできるようなものを今、考えていこうというふうに研究を進めているところです。

それで最後に、樋門の連通性の問題、空洞化の問題。今までは連通試験という方法をやって、強制的に外力をかけてこの空洞が底版の下で繋がっているかどうかを確認するという方法を行ってまいりました。ここで紹介しているのは、水位計をこの底版の、最近のにはグラウトホールというのがついておりますので、その中に入れておく。それでしばらくそのまま置いておく。(スライド13) そうすると河川水位が変動したりしたときのデータが取れます。そのデータから連通性があるか、ないかを判断できます。ですから、そうやって強制的に試験をやらなくても、

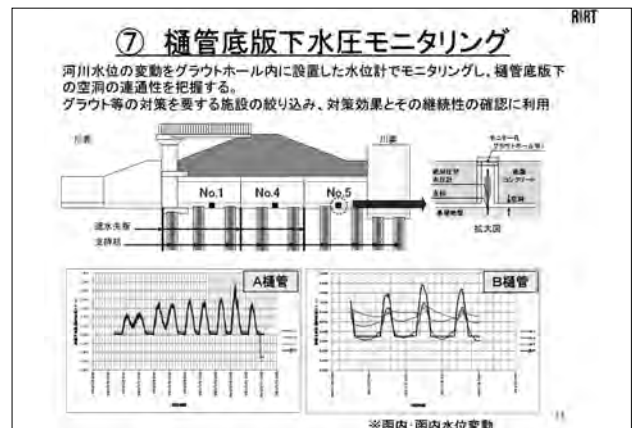
● スライド11



● スライド12



● スライド13



今ある施設の中でモニタリングすることで、その施設の健全性がどうか、あるいは対策をやった後であれば、その対策がうまく効いているか、というようなことの確認ができるということで、例としてご覧をいただいたところです。

以上、7つの事例を紹介させていただきました。

三木 時間がちょっと押しているんですが、一言だけ補足と言うか。

道路防災点検、皆さんご存じないかもしれませんが、昔からずっと落石・崩壊、あるいは土石流、地滑りとか、そういう道路にいろいろな災害を及ぼさないかということを点検しているんですね。先ほど永矢さんの学会の自主研究で状態把握手法のご説明がありましたけれども、やっぱり似ているんですね。同じようなことをやろうとしている。

それで結局、道路防災点検でも道路交通の安全を守るのが究極の目標ですから、それでまた自然斜面だ、あるいは人工斜面だと、そういう不確実性の高いところでどう守っているかと言うと、基本は待ち受け型の擁壁とか落石防護柵とかで、道路に影響が及ばないようにポケットを設けて待ち受け対策をやる。じゃあ、それが万全かどうかと言うと、例えばものすごく大きい岩盤崩壊なんかは、これは本当に壊れてきたらそんなものは乗り越えてしまう。あるいは土石流なんかも、ちょっと大きいのが来たら乗り越えてしまう。そういうものに対して、道路が安全ですよ、とはなかなか言いづらいので、そういうときはどうしているかと言うと、監視、モニタリングですね。監視による暫定対策という概念を持ち込んでいます。道路土工指針とか、今度、道路局の基



準になりましたけれども、監視による暫定対策。それでモニタリングというのは、その対策の効果が万全かどうかという効果の確認にも使える。あるいは、そういう監視をして警報を出す。で、もう1つの合わせ技が、事前通行規制なんですね。本当にもう危ない時には道路を止めると。雨が雨量基準をオーバーしたら止める、あるいはモニタリングの値が閾値をオーバーしたら止める。そういう合わせ技で道路を守っている。

それで堤防の方も同じで、ポケット的に余裕高というのものもあるし、場合によっては眼鏡堤だとか、二重ゲート、三重ゲートだとか、そういう二線堤みたいなやり方もあるし。で、それができないところは水防で守っているんですね。だから水防で不確実性と言うか、そういう予兆を見つけて早く手当をする。

だからそういう合わせ技で、堤防の不確実性を補っているということなので、今、佐藤さんがご紹介したような技術を、うまく監視による暫定対策的なやり方で、うまく活用していただければありがたいなと考えています。

### <質疑応答>

**安原** ありがとうございます。最後に質疑応答をしていきたいと思えます。よろしくお願ひします。

皆さん、ご発表をどうもありがとうございました。(拍手) 非常に有用な新技術も分かりましたし、また重点的に監視するだとか、そういうメリハリをつけるといった方向性ですとか、またモニタリングという新たな概念、そういったものについての示唆もいただきました、ありがとうございます。

そうしましたら、まずいろいろございましたので、もしよろしければ本省と国総研のお二方から何かコメントがありましたらお願ひしたいと思えます。時岡さんとか、どうですか。

**時岡** 私も聞いていて、非常にこの新技術がけっこう使えるものがあるなど。先ほど「現場のニーズ」というのをご紹介させていただきましたが、先ほどの堤体の中の湿潤度とかそのような調査を知りたい。あるいは、川の中をどう見るかというのが課題なんですね。今、年に1回は河道の中の点検をすることにはなっているんですけども、高水敷は木が生い茂っている、川の水際まで近付けないときに、一体河道の中はどう見ようかというのが課題なので、そこを苦勞してカメラを使ったりするわけですけども、そういうところはグリーンレーザを使えば毎年ではないにしても、そういった定期のときに使えば、大きくまた川の中の見方というのも、川底が見えるというのはまた新しい展開とかもできると思えます。だから、私もワクワクしながら聞かせていただきました。

**安原** そうですね、パスコさんのご発表の中でALBとソナーですね。水中というのは、今はほとんど点検ができていないと思えます。特に、河床の状況とか深堀の位置とかが連続的に分かると非常に有用な技術になるかと思えます。

では、杉原研究官はいかがでしょう。

**杉原** 今、時岡さんがおっしゃったように、非常にいろいろと使える可能性がある技術だな、と。これは先ほど私もご紹介したロボットとか、モニタリン

グでも出てきている技術で、それでよく見ているんですが。

あとは具体的にどう使っていくのかというところを、やっぱり我々使う方も考えなければいけないし、開発される方もそういうのを意識しながらやっただけならば、非常にマッチングして有効に使える部分があるのかなと思えます。例えば衛星SARなんかも今は開発中だと思えますが、何もしないで空の上からデータを取って、それが溜まってきて何か少し変状があれば自動的にアラームを鳴らしてもらえれば、それを受けて監視者がそれを見に行くとか、そういうシステムになってくれば仕事をしてても非常に楽になるでしょうし。具体的にどこで、どういう形で我々の仕事に使えていくかというのを、もう少し具体的に考えていくことがこれからは必要になるのかなという感じがある。

**安原** ありがとうございます。さまざまな有用技術がございますけれども、重点化をしたりとか、そういうことで組み合わせをしていくことで恐らく持続可能と言うか、実現可能なそういう組み合わせ、状態把握を行っていくという世界ができてくるのかなと思えます。いろいろコスト面とか、さまざまな検討課題とかございますが、今後の検討課題だと言うように思えます。

本日は、その可能性が見えた、というところを1つの示唆としまして、本日のセミナーはこれで終わりたいと思えますが、もしよろしければ会場の皆様からご講演いただいた皆様にご質問等がありましたら幾つかお受けしたいと思えますが、いかがでしょうか。

**質問者1** 堀内様にちょっとお伺ひしたいなと思えますんですけども、MMSであったり、赤外線カメラを使った変動を見る技術があったんですけども、私が水門の現場でよく普通のデジタルカメラで門を撮るんですが、何かこう、普通のデジタルカメラを使って三次元の変状を見るような、簡易な、現場で使えるような技術というのが現状あれば、何かお聞きしたいなと思えます。

堀内 先ほどの話の中でご説明しましたPALSと言うのがありますね。あれはヘリコプターから斜め写真を撮って、それでパノラマをつくったり、3D化したりという技術なんですけれども、それをもう少し低空で、低空ということはそれだけ密度が高くなるわけですから、低空で密度よくやるというのが今のUAVの発想だと思うんです。さらに、そのものにズバリ近づいてデジタルカメラで連続撮影して、それを3D化するという、それぞれのレベルがあると思いますが、UAVでちょうど中間部分が固定されつつありますので、それはニーズ、精度によってそれぞれ使えるデータ取得技術というのがシームレスにできてくるというように考えております。

安原 他にいかがでしょうか。

質問者2 永矢さんにちょっと質問なんです、スライド9、「機能低下と維持管理」という中で、「河道の機能低下は健全な状態から複数回の洪水で徐々に進行していくものと考えられ」と書いてある中で、下の●の中では、突発性の機能低下というものが洪水中に突如発生するものというようなことが書かれていて、この分けと言うか、たぶん洪水の規模によるんだと想像したんですが、どれぐらいの規模によってこれが分かれるというふうに考えてこういうことをお書きになったのかということをお聞きします。

と言うのは、「維持管理」という言葉をこれから皆が共有していくに当たって、維持するという範囲が例えばH.W.L.満タンで流れるぐらいの洪水でも、その機能は出水後でも機能が維持されなければならないのか、もしくは年最大ぐらいの出水のときには出水後にもその機能が維持されていけばいいのかということで、例えば維持されやすい河道をつくらう

とか、そういうことを考えたときに難易度が相当変わってくると思うので、その辺のお考えをちょっとお聞かせいただきたいんですが、お願いします。

永矢 難しい質問とあっていて、この中では「複数回の出水で進行していく」と。それで突発性も必ずしも大きい出水で突発的に起きるというものではなくて、繰り返し起こることによってどこかで起こる、というような可能性もあるかなというように思っております、一概にどういう出水でというようなものはないのかなというふうに思っております。

と言いつつも、やはりそれは施設ができた直後と、少し進行してきた状況でやっぱり違うのかなと思いますので、その辺の施設がどれぐらい年数経ったかというのもひとつの要素になるかなと思います。

安原 大変難しい問題というか、ここで書いたことはそういう疑問が湧くと思うんですけれども、私はこれは維持管理目標の中で、これぐらいの外力、流量規模であるとか、または堤防であればどれだけ雨が降ってという、そういう外力の1つの目標というものを立てるイメージを持っておりまして、それ以下のものであれば何度も起きていけば徐々に壊れていくというように捉えられますけれども、それを超えたものはもう壊れますよね。そういうものもひっくるめて「突発性」ということで管理者の責任の外側になるという整理をしておこうという、大雑把な考え方でございまして、そのような意味合いだと思います。よろしいでしょうか。

質問者2 ありがとうございます。

(了)

平成27年度  
第2回 河川研究セミナー

堤防の維持管理

佐々木哲也氏（国立研究開発法人 土木研究所 土質・振動チーム 上席研究員）

開催日：平成27年6月24日（木）

場 所：AP東京八重洲通り





## 堤防の維持管理

(国研) 土木研究所 土質・振動チーム 上席研究員

佐々木 哲也

佐々木 ただいまご紹介いただきました土木研究所の佐々木です。土木研究所は4月1日から「国立研究開発法人」に変わりました。国立研究開発法人ということになって、土木研究所の最大のミッションは、単に研究するだけでなく、「研究成果の最大化」ということが言われておまして、研究した成果等を社会に還元するという、土研単独ではなく、いろいろな大学の先生方ですとか、河川で言えば管理者の方々、民間の方々、そういった方々と協力して、研究成果を社会に還元していくということ、それが最大のミッションだと言われてございます。

これまでの土研というのは、どちらかと言うと行政についたような研究機関でして、そこはそんなに変わっているわけではないんですが、今後はより一層そういった関係者の方々と協力して、いろいろな研究開発、それと社会への反映ということに取り組んでいきたいというように考えてございますので、引き続きよろしくお願ひします、ということと、今日はこのような場を設けていただきまして、我々の取り組んでいる内容等をご紹介いただいておりますので、さらに興味等ありましたらいろいろ連携等を取っていただけたらと思っております、今日はそういうきっかけになれば幸いかなと思っております。

それで、今日のお題としていただいたのが「河川堤防の維持管理」という、まあ、漠、としたものをいただいて、ちょっと国総研の杉原さんに相談して、どちらかと言うと私どもの土研の土質振動チームというのは土構造物全般で、特に堤防関係で言いますと浸透対策関係と耐震関係ということで、要するに今日の内容は、一応、維持管理も意識してはおりま



すが、広義の意味で捉えていただければと思います。既設堤防の堤防強化も含めて、含めてというか、そっちがメインになってしまったんですけども、そういう形でお話をさせていただきたいと思っております。

それで内容としては、被災の形態は皆さんご存じだと思いますが、そちらを簡単に紹介した上で、浸透対策に関する最新の土研での取り組みですとか、それとともに、東日本大震災を受けて、緊急的に本省さんの方でも耐震関係の基準類の指針等の改定を行ったんですが、今年度それをブラッシュアップする形で耐震関係の基準の改定が考えられておまして、我々の方もそれと合わせて研究を行っているところなんです、この辺がかなり詰まってきたりとか、近々の改定に向けてということで、今は急ピッチで研究しているところですので、その辺のデータがかなりホットで、ちょっと耐震関係が増えちゃってはいるんですが、そういう形でお話をさせていただければと考えております。

それで、堤防の被災にはいろいろなパターンがあるんですが、維持管理ないしは堤防強化という、いろいろな被災パターンに対して、やっぱり堤防を強

化して洪水に対して安全に流すということがミッションということで、いずれにせよ堤防の維持管理をしていくに当たっても、堤防を強化するに当たっても、一体どういった被害を対象にするのかということがあるかと思います。

それで堤防の被災パターンは、いろいろパターンがありまして、これは、皆さんもご承知だと思いますが、平成24年の矢部川の事例です。こういうパイピングで下から噴砂が出ているような状況で、それで矢部川はご存じのとおり、このようにパイピングによって破堤が起きてしまったということです。後ほど、矢部川の事例についてはもうちょっと詳しくご紹介します。(スライド1)

それと、法のすべりということ、浸透によってすべるとのこと。これは実験の動画なんです、浸透によってこういうすべり破壊が起きます。事例としてはそんなに多くはなくて、これで破堤したと

いう事例はないんですが、浸透でこういう法すべりが起きるとするのは、大きな出水のたびに、小さい方で言えばある。これは実験なので極端な例ですが、実際に天端までズズッと崩れていくようなこともあり、当然このようなことが破堤につながってしまう恐れがあるということかと思っています。(スライド2)

それで、これも侵食ですね。これは平成23年の北海道の音更川で、こういう湾曲部の外岸で侵食が起きているという形で、これも危うく破堤するような感じですね。(スライド3)

それから地震の場合、これは耐震対策のきっかけになったものですが、これは阪神淡路大震災の淀川の事例ですが、これなんかは本当にゼロメートル地帯でこういう被害が起きていて、危うく溢水しそうになるということ、これをきっかけに耐震対策という事業が進んだというものでございまして、こういった、特に都市部のゼロメートル地帯とかでこの

● スライド1



● スライド3



● スライド2



● スライド4



ような被害が起きるとかなり危険な状態になるということですが。

これは東日本大震災の際の阿武隈川ですけども、こういった地震のたびにかなり壊滅的な被害がたびたび起きているということで、こういった被害を防ぐというのも喫緊の課題かなというように思います。(スライド4)

それとあとは、構造物周りでは、これは昭和56年、61年の小貝川の事例です。(スライド5) いずれも樋管周りで破堤したということで、詳細は分かっていないんですけども、恐らく樋管の下の空洞化が影響したのではないかということが考えられておりますが、こういうところが弱点になっていくということがありまして、こういったいろいろなパターンで堤防の治水機能に影響を及ぼすような致命的な被害というのが起きているわけですが、それぞれの観点で安全性というか、そういうものを確保していかなければいけないということがあるかと思えます。以上はおさらいです。

なればいけないということがあるかと思えます。以上はおさらいです。

それで、これもよく使われているものですが、この破堤の要因別割合は、本省さんの方でまとめられたものです。(スライド6) これは1945年以降という古いものなので、越水が一番多いということ。その次が侵食、浸透というのは意外と少ないのですが、よく言われているのが、これは1945年で、戦後からのものなので、昔は堤防整備が進んでいないので越流が多かったということ。堤防整備が進んでいけば越流のリスクは減っていきませんが、逆に侵食や浸透のリスクが高まってくる。特に大河川では越水はなかなか起きにくくなってきますが、浸透に負うリスク推移は高くなってきます。そういうリスクが高まってきて、それに対してきちんと手当てしていく必要があると考えられております。

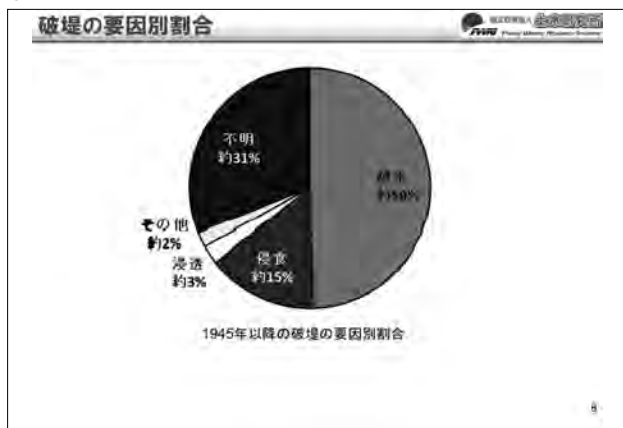
そういう中で浸透に対する安全性評価と対策ということですが、浸透対策は今、質的整備ということでいろいろ事業も進んでおりますけれども、そういうところで最近の被災事例を踏まえてどういったところに注意しなければいけないかという話と、今、土研の方ではどのようなことに取り組んでいるかということについてお話をしたいと思います。(スライド7)

それで浸透関係はこういったお話です。(スライド8) 2.1は最近の被害を踏まえて、特に浸透に対する質的整備の関係で照査や設計をされている方も多いかと思いますが、そういうところで最近の事例か

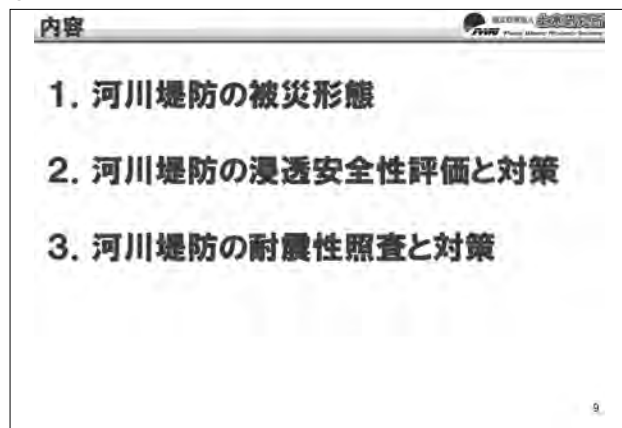
● スライド5



● スライド6



● スライド7





ら言える、照査上留意した方がよさそうなポイントをちょっとご紹介したいと思います。それで2.2、2.3、2.4は、これは土研が最近取り組んでいるお話ということで、浸透に対する安全性評価をもうちょっと良くしようということで、最近は円弧すべりとかでやられておりますが、実際に浸透に対しては直轄だと6割ぐらいアウトというのが出てくるんですが、これをもうちょっと適切に評価できないかという形で

● スライド8

**内容(河川堤防の浸透安全性評価と対策)**

- 2.1 浸透に対する照査・設計のポイント
- 2.2 浸透に対する安全性評価の高度化
- 2.3 浸透対策の合理化
- 2.4 点検・診断法の高度化

● スライド9

**照査・設計の手順: 浸透に対する**

浸透に関する堤防の性能照査は、浸透流計算とそれから得られる浸潤面を用いた円弧すべり、パイピング、盤膨れによる堤防破壊に対する安全性の評価

一連区間と代表断面の設定の確認

高透水層の分布を見逃さない

照査結果と対策工の対応

適切な材料選定と施工管理

厳しい条件:  
 ・堤内地盤が低い  
 ・堤防幅が狭い  
 ・局所的な砂層が分布など

検討を行っているということです。

それと浸透の対策について、矢板を打ったりとかいろいろな対策があるんですが、もう少し安価なやり方というのはないかということで検討しています。それと点検・診断法、堤防は延長が長いので、点検とか診断をどう合理化していくかということについて取り組んでいるということで、こういった内容についてご紹介したいと思います。

それで、堤防浸透に対する照査・設計の手順ということで、ざっと全体の流れを書いております。(スライド9、10)

基本的に、浸透に対して堤防の性能照査自体は、代表断面に対して浸透流計算をして、それによる浸潤面を作って円弧すべりとか、パイピングとか、局所動水勾配とかそういうもので照査するということがあるんですが、基本的に堤防というのは非常に延長が長い。保全調査というのは断面しかできないんですが、それを一連区間で、基本的には代表断面を設定しますということで、一連区間では地形の基礎地盤の露出とか、微地形、堤防形状等を考慮して区間割をしてくださいねという話。それと、その区間の中から代表箇所を抽出してくださいね、というのが実際にあるんですね。それで実際の計算というのはそこのある代表断面についてやって、その区間の安全性を評価するということかと思えます。

それで実際の具体的な照査というのは、これも皆さんご承知かと思いますが、浸透流を考慮した円弧

● スライド10

**浸透に対する堤防の安全性照査**

照査基準 基本断面形状を確保したうえで、以下の項目について照査

① 被覆土層なし

② 被覆土層あり

表のり:  $F_s \geq 1.2 \times \alpha_1 \times \alpha_2$   
 $\alpha_1$ : 高透層の埋没さに対する割増し係数  
 $\alpha_2$ : 基礎地盤の埋没さに対する割増し係数

裏のり:  $F_s \geq 1.0$

すべり破壊に対する安全性

パイピング破壊に対する安全性

すべりに対する安全性ですとか、こういう局所的な動水勾配のパイピングの照査ですとか、被覆土層があるような場合には、下からの揚圧力に対する盤膨れの照査というか、それを行うということになっていて、実はいろいろ計算をしているんですが、最初の区間割というのが実はあって、区間割で取りこぼしがあったりとか、けっこうありますよということです。

例えば、これは先ほどちょっとご紹介した矢部川の事例です。(スライド11)パイピングで破堤が起きたということです。これは九州地整さんの方で被災後にかなり細かく調査をしていただきました。これは破堤箇所の断面で、堤体自体は粘性土、それで下に砂層があって、その下に粘土層、さらにその下に礫層があり、委員会の結論としては下からのパイピング、As層、ないしはAc層から取ったパイピング現象が起きて、パイピングで穴が進行して堤防がストーンと落ちこちたというように推定されております。

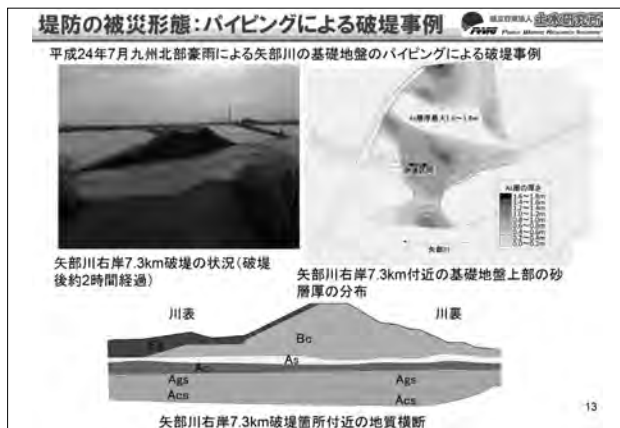
それで、九州地整さんはかなり細かく面的にサウンディングをやりました。この堤防下の砂層がどう分布していたかというのと、延長方向で見ると本当に局所的に砂層が堤防を縦断していたということが分かります。ですので、堤防の安全性照査のポイントはいろいろあるんですが、結局この区間の、この砂層の存在を見つけられるかというのがかなり重要になってきます。いろいろ計算法とか様々な適用上の



問題はありますが、こういった箇所を本当に見つけられるのかということで、これは今後かなり研究として進めなければいけないですし、実際に照査の業務に当たっている方はまずやっぱりそういうところを疑ってほしい。代表断面というのは、きちんと周りの地形とかそういうものから代表断面が抽出できているか、一連区間という設定がちゃんと取れているかということを考える必要があるのかなと思います。ちなみに、矢部川の場合は、詳細点検では、ここだけの話ですが、ここはピンポイントで、やっぱり取れてなかった、ということと言えます。

それともう1つの事例が、これは平成25年の事例で、子吉川です。(スライド12)これは破堤等には至っていないんですが、H.W.L.近くまで水位が上がって、裏法のすべりが起きたというような事例でございます。この写真は応急復旧をやってしまった後なんですが、前面の耕作地を含めると、これは扇形にすべって盛り上がっているんですが、こういうすべり破壊

● スライド11



● スライド12



が起きております。それで、この崩壊土の先にはこういう噴砂等が出ていて、パイピングの恐れがある。パイピングっぽいし、全体としては法がすべっている。これはもうパイピングとすべりの複合なのかなということです。それでこれも東北地整さんの方と、土研も一部絡んでいるんですが、非常に細かく調べました。(スライド13)

これがその堤防断面でして、堤体の下には粘性土層があって、その下にはAs層なり、Ag層で透水性の高い層があるということ。それで実際のすべりは、これはかなり推定で書いているんですけども、崩壊後に東北地整さんの方で開削調査等をやっている。どうもこの粘土層のこの下あたりですべていそうだと。粘土層の斜めに噴砂が走っている跡が見えたり、粘土層が盛り上がっていたり、恐らくすべりの下というのはAs層と粘性土層の間ですべているんじゃないかというようなことが考えられております。

それでこれも堤防の壊れた箇所以外も含めて縦断方向に細かくサウンディング調査というのをやっております。これを見ると、表層にAs層というのがあるんですが、被覆土の粘性土層を細かく見ると、やっぱり被災区間でかなり薄かったということで、例えばここに河川水位の被圧水がこのAs層、Ag層から圧力がかかったときに、このような盤膨れをする可能性がある。一番縦断方向に見ると一番薄いところで起きやすいですから、ここで盤膨れなり、パイピ

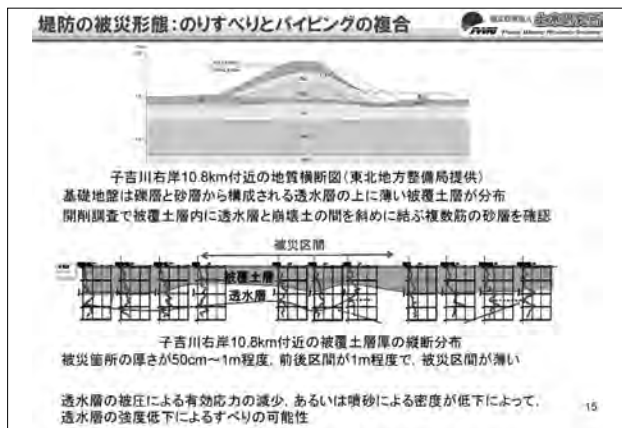
ングが起きる。それと同時に、この圧力が溜まることによって、せん断強度が落ちるので円弧すべりや破壊が起きたというように今現時点では推定しております。もうちょっと詳細な解析等が要すると思うんですけども、こういうことを考えております。

それで、これからも言えることは先ほどと同じで、こういう弱点箇所というのを見つけられるかというのが本当に重要になってきまして、これはかなり難しいですね。数百mぐらいの区間を見つけるということですが、やっぱり今後は技術開発したらこういったものを見つけるような技術というのがかなり重要になってくると思います。実務的にはやっぱり、先ほどと同じなんですけれども、代表断面というのが本当に弱点を取れているかということ、常に疑う形で、業務等の検討を行っていただければと考えております。

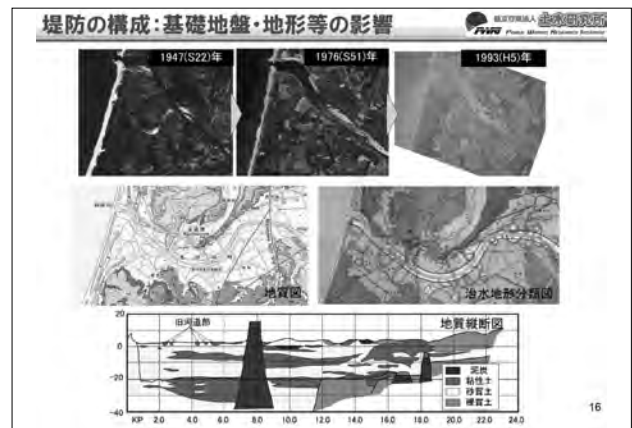
それで、これは一例なんですけれども、浸透対策、先ほどの詳細点検等をやる上で、やっぱり一連区間の設定というのは実はすごい大事だということです。(スライド14)

これは後志利別川だったと思います。この航空写真にあるように河道が変遷しているわけですね。それで治水地形分類図なんかでも旧河道がそこら中に走っていて、かなり複雑。実際の堤防の河口付近ではこういったところが多いわけなんですけれども、そういった旧地形ですとか、旧地形だけでもなかなか絞り込めないところがあって、少なくともこういうも

● スライド13



● スライド14



のを考えて一連区間なり代表断面というのが適切かどうかというのを把握するというのが非常に……今ご紹介した事例からもかなりあるのかなというように考えております。

それで今、堤体の話をしなかったんですけど、実際に堤防の特徴というのは基礎地盤が複雑ということに加えて、堤体自体がかなり複雑で、皆さんご存じのように過去のこういう改築の履歴を踏まえて今の形がある。(スライド15) 嵩上げですとか、拡幅を繰り返して来て、当時の施工技術や採取できた土質材料を使ってやっているの、中が均一ということはずまいと思っていいただきたい。ですので、こういう詳細点検に当たっては、たまにB層とか全部一連でバーッと照査してしまうこともあるんですが、実際こういう築堤履歴というのをきっちりと反映してやらないと、ちゃんとした照査はできません、ということです。

それで実際どういう堤防が危ういのかなということです。(スライド16) 例えばこっちに不透水層があるような場合だと、水位が上がりやすいとか。中に透水層を介在していると、ここから漏水等が起きやすいとか。基礎地盤で言うと、行き止まりになっているような場所では水位が上がったり、圧力を受けて盤膨れ等をしやすいということで、やはり堤体ですとか基礎地盤というのをきっちりとモデル化する、ちゃんと調査するということが非常に安全性評価の精度を上げていく上では不可欠だということ

です。

この①～③は、ちなみにということ、でいろいろやってみた試算です。(スライド17) 均質な堤防上で水位をひたひたに浸したら、このぐらい水位が発展していくんですが、例えば砂層が介在しているだけでかなり進行が早まってしまいます。それからここに粘性土の旧堤体があると、逆に進まない。雨なんかがあるとむしろ溜まったりするんですが、河川水に対しては大分違う。同じ断面でも、ちょっとこういう層が入っているだけで実は結果は変わってきてしまうということなので、作業を進めるにあたって、先ほどの事例とかでもあるように、弱点箇所というのがかなり地形的に、後から見ると分かるんですが、それを事前に発見するというのは難しいんですが、そういうところを常に疑って照査していかないと難しいということが最近の事例から言えるんじゃないかなと思っています。

● スライド15

**堤防の構成：築堤履歴**

築堤履歴を反映した堤防のモデル化ができていますか？

- ・堤体内に異なる性質の土層(分布形状)が存在(土層構造)し、浸透安全性を左右
- ・土層構造により、堤防の力学特性は多様
- ・地盤調査結果だけでなく、築堤の工事記録、横断測量による堤防形状の変遷も加味しながら、築堤履歴を推定することが重要
- ・築堤履歴の更新・保管は継続的に取組むことが不可欠

築堤履歴の解析への反映

● スライド16

**被災しやすい堤防の土層構造のとりえ方**

堤体や基礎地盤の状況に応じて被災しやすさが異なる

透水性地盤において裏のり尻下や堤内地盤側に粘性土等の難透水層が分布(いわゆる行き止り地盤)の場合、湿潤面を押し上げ、漏水やパイピングが発生しやすい。

以下のような基礎地盤、土層構造を代表断面の選定に活かしているか？

● スライド17

**被災しやすい堤防の土層構造**

堤体構造に関する試算(外水位のみ作用)



それで、今言ったお話はごく一部なんですけれども、実はうちの方でこういった「河川堤防の浸透に対する照査・設計のポイント」ということで、宇野先生に監修と言うか、精力的にやっていただいて、本省の堤防技術研究委員会の中で作ったものなんですけど、土研のうちのチームのホームページからダウンロードできますので、見ていない人はぜひ一度見ていただけたらいいかと思えます。かなり簡単なことから書いてあるので、ベテランの方にはちょっと物足りないかもしれませんが、最近のいろいろな事例から、こんなところがポイントですよというのをまとめておりますので、ぜひご参考にいただければなと思っております。(スライド18)

次に、うちの研究内容の紹介ということになるんですが、「安全性評価の高度化」ということです。それで先ほどもちょっと言いましたけれども、浸透に対する堤防の安全性照査、先ほどと同じスライド

● スライド18

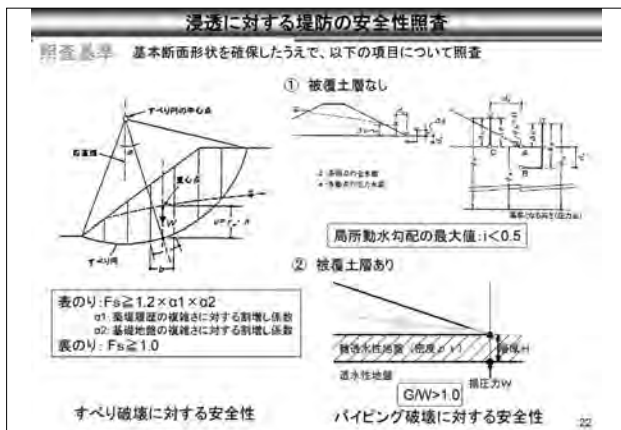


ですね。(スライド19) こういう円弧すべり、ないし局所動水勾配だったり、盤膨れの照査というものを安全性の照査と謳っているんですが、実際の堤防の被害被害というか、変状というのはどうなのかということで、今いろいろ土研の方で実験をやっているんですが、ちょっと幾つかその動画を見ていただきます。(スライド20)

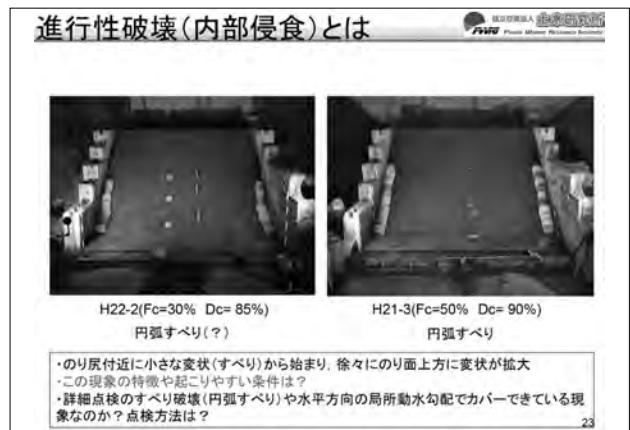
これは左側の動画を再生しているんですが、実際にきれいに円弧でスパッとすべるわけではないんですよ。これは法尻がかなり先に壊れ出して、徐々に進行して、最後はズバッとすべりましたということです。それで、右の動画はまた条件が違って、さっきとは堤体材料が違って、これは「Fc」というのは細粒分の割合ですが、それが半分ぐらい、粘性土と砂の中間土ぐらいですかね、それを、「Dc」というのは締め固め度、90%でちゃんと締めたものということで、こちらをぐっとやると、法尻は軽く崩れて、ちょっとすべっている。

ということで、これは材料も違うんですけど、締め固めの程度とかが違うんですが、こういった形で、実際は、照査しているような円弧すべりはスパンと行くわけではなくて、法尻から徐々に壊れたのが進行して最後バズッといく左のようなケースとか、右のケースはもう法尻がちょっとすべったぐらいで終わってしまうということで、実際には土質とか、締め固めの程度で挙動が随分違うんですけれども、これはベルトで円弧すべりをやっているんですが、

● スライド19



● スライド20



そういう円弧すべりはこれで表現できているのかな  
というところをいろいろ検討してみます。

それで同じような実験ですね。(スライド21、22)  
堤防の土質、この「Fc」というのは細粒分の割合で、  
これが少ないほど砂っぽい。これが多いと粘土っ  
ぽくなって来るんですね。それと「Dc」というのは、  
締め固めの程度です。昔は基準が85%でしたが、2  
～3年前に92%に国交省の共通仕様書が変わって  
いるんですが、それより昔の堤防ですと85%が基準な  
ので、実際にはこれよりもっと緩い場合も存在する  
ということです。でも変えています。これは細粒分  
が細かいとこう崩れていたり、これも細かい材で  
10%くらいだとこういう進行的な破壊が生じた  
ということです。

それで次のケースですと、もうちょっと細粒分が  
増えてくる。これが先ほどの細粒分が30%ぐらいで、  
締め固め度が85%ぐらい、最終的には全部破壊につ  
ながりましたということです。これが同じ材料なん  
ですが締め固め度を90%でやると、法尻がちょっと  
すべった感じに。これをもうちょっと細粒分が多  
くなってきて、締め固め度を90%ぐらいでやると、  
これはあまり変わらない、ということで、ちょっと  
した材料の違いですとか、締め固め程度の違いで実際  
にはこの堤防のすべりに対する安全性というのは全  
然違うということが分かっていますし、実際に壊れ  
方の進行の程度も大分違うぞということです。今の  
5ケースは実は全部円弧すべりをやるとアウトなん  
ですけれども、そういう違いが実際にはありますと

● スライド21

ケース	土質・ 締めめ	のり面 勾配	外水 位	変状の有無	実験終了時の写真
1 H21-1	Fc=10% Dc=85%	1:2	2.3m	・37時間経過時 点で変状発生 ・実験は、48時間 まで継続	
2 H22-1	Fc=10% Dc=90%	1:2	2.3m	・36時間経過時 点で変状発生 ・実験は、72時間 まで継続	

ということです。ですので、こういう破壊が進行する  
のか、最終的には全般破壊してしまうようなもの、  
こういうものです。さらに時間も違うんですが、そ  
ういうところまできっちり評価しないと、なかなか  
合理化につながらないぞということが分かっています。

それで一応まとめますと、河川水位が高かったり、  
法面勾配が急ですとか、細粒分が少ないとか、締め  
固め度が小さいと、進行的には徐々に、最終的には  
ズバッと行くような被害が起きやすいということが  
分かっています。それで実際に、先ほどの絵にもあつ  
たように、ドロップ状にだんだんと進行していくと  
いうことが分かっております、やっぱり砂っぽい  
のとか、締め固め度が低い、要するに緩い堤防ほど  
進行しやすいということが分かっております(スラ  
イド23)

それで、今はかなり大きな実験をやっていたんで

● スライド22

大型模型実験の概要					
3 H22-2	Fc=30% Dc=85%	1:2 ↓ 1:1.5	2.3m ↓ 2.7m	・のり面勾配1:2 では大きな変状 無し ・のり面勾配1:1.5、 外水位2.3mでは 大きな変状無し 外水位を2.7mに 上げてから約30 時間経過時点で 大きく崩壊	
4 H21-2	Fc=30% Dc=90%	1:2 ↓ 1:1.5	2.3m ↓ 2.7m	・大きな変状無し ・のり面勾配1:1.5、 外水位2.7mで 144時間まで継続	
5 H21-3	Fc=50% Dc=90%	1:2 ↓ 1:1.5	2.3m ↓ 2.7m	・大きな変状無し ・のり面勾配1:1.5、 外水位2.7mで 1004時間まで継 続	

● スライド23

大型模型実験のまとめ	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・河川水位が高いほど、 のり面勾配が急なほど、 細粒分が少ないほど、 締め固め度が小さいほど、 進行的破壊(内部浸食)を起 しやすい</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・のり面がブロック状に割れて崩れ落ちることにより、 破壊が進行する。細粒分が少ないほど、 締め固め度が小さいほど、 ブロックの大きさは小さい。</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>・崩れた後ののり面勾配は、概ね4割</li> </ul>	



すが、いろいろな材料を使って、これって本当に進行程度とどう違うんだということを、もうちょっと小さい実験をいろいろやっています。これは材料が①～⑩の10種類、条件を変えて13ケースやっていて、粒度の範囲で言うと、かなり細粒分が多いような、多いと言っても35%ぐらい、ここは細粒分になります。ここから下がシルトとか粘土、砂っぽいのか、あとは礫を含んだものを含んで実験をやってみました。(スライド24、25)

グラフの説明ですが、法尻付近は動水勾配との関係で見ていただくといいんですけども、動水勾配というのはなかなか局所的な動水勾配を実験で測るとするのは難しいので、これは法尻から10cm下がったところの動水勾配なんですけど、大体0.3ぐらいから変異が出始めて、要するに崩れ始めるということが実験的には分かっています。設計上は0.5とかでやっているんですけど、かなりこれは10cmぐらいの細かい、本当に先っちょのところをやっています。これは先

● スライド24

**堤体材料の影響(小型模型実験)**

実験ケース (築堤材料を変えて同型の模型を作成)

CASE	粒径 材料	Fe(%)	D50(mm)
CASE1	①	16.91	0.205
CASE2	②	35.23	0.15
CASE3	③	9.58	0.29
CASE4	④	7.88	0.295
CASE5	⑤	3.72	0.85
CASE6	⑥	19.01	0.24
CASE7	⑦	27.95	0.17
CASE8	⑧	33.96	0.14
CASE9	⑨	7.70	0.65
CASE10	⑩	4.90	3.50
CASE11	⑪	16.91	0.21
CASE12	⑫	35.23	0.15
CASE13	⑬	4.90	3.50

使用した砂質土の粒径加積曲線

に行くほど動水勾配は実際に大きくなるんですが、この範囲に依存するんですね。大体0.3~0.4ぐらいから変形が進む。要するに崩壊が始まるということです。それで大体この辺が砂質土です。それで、この辺の礫を含んだものだとやっぱり崩壊しなかったりとか。中には全然壊れないものもあって、かなり土質によって違うということと、法尻付近の局所的な動水勾配で変形の仕方が変わってくるということは分かっています。

それで、この進行程度というのは模式的に整理してみました。(スライド26)

最初に何が起きるかという、浸潤面が法尻に達してくると、やっぱり最初に細粒分が抜け出してくる。濁った水が出てくるとよく言いますが、やっぱり濁った水がチョロチョロ出始めます。次に、そうすると法尻の湿ったところがだんだんと外に、いわゆるはらみ出してくるんですね。それが進んでくる

● スライド25

**堤体材料の影響2(小型模型実験)**

本実験の内13ケースのり尻の水平変位とのり尻から10cmタンク側の位置の水頭値をもとに図面を整理。

- 経過時間で見ると盛土材料の強度特性に応じて水平変位の発生時間・進行状況は異なる
- 動水勾配と水平変位の関係を見ると、概ね動水勾配=0.3~0.5程度で水平変位が発生している(より、のり尻に近ければ更に大きい値となる可能性)
- 中にははすべり的な挙動を示す(水頭の変化がほとんどなく、変位だけ急に発生する)ケース(例えば、CASE2、CASE8)も含まれる

実験開始後の経過時間と水平変位の関係      のり尻付近(のり尻から10cm)の動水勾配と水平変位の関係

● スライド26

**変状の進行のメカニズム**

進行性破壊の進行は左に示したように、

- STEP1: のり尻近傍の細粒分の流出
- STEP2: 水頭の上昇に伴う水平変位の発生
- STEP3: 水平変位に伴うテンションクラックの発生
- STEP4: STEP2とSTEP3の繰り返しによる亀裂の拡大・発達

のり尻近傍の細粒分の流出は、実験後(破壊のり中央付近まで進行)の試料採取では、若干の細粒分の低下が見られる。のり尻の水平変位の発生がきっかけになった可能性は高いものの、破壊進行への影響は不明。むしろ、崩壊した土砂の透水係数が低下(観察からの推測)することによって、のり尻の水位が上がる影響が大きいのではないかと。

追加検証

採取位置	Fe(%)
実験前	16.55
実験後	16.92
のり尻	15.77

破壊進行後の採取結果

とここに亀裂が入ってきて、最後にはチョロッと小さい崩壊が起きる。そうすると、今度は後ろがドロッと垂れてきてすべると。その繰り返しで徐々に変形が進行していつているという様子が分かります。先ほどの映像の方でも徐々にスライス状にドッドドッドと進んでいくというような形で被害が起きております。

それでこういう被害は、よく言われるのは内部侵食というもので、細粒分が抜け出すことによって崩壊する、ということで、それはあるのかなということである。いろいろこの崩土について実験前の材料と比べてみると、多少はこの濁り水が出てくるので抜けているのかなと思ったんですが、粒度を調べてみるとそんなに有意な差はなくて、多少出るは出るんですが、特に材料によるのかもしれないけれども、あまりこの細粒分が抜けることが支配的な要因ではなさそうだと。それよりも水位が上昇していつて、この辺の強度が落ちて変異が進むということ。それによってちょっとずつすべるといつ、徐々にそのすべりの進行に伴って水位が上がっていくんですけども、そういう影響がかなり大きいのかなということが分かってきております。

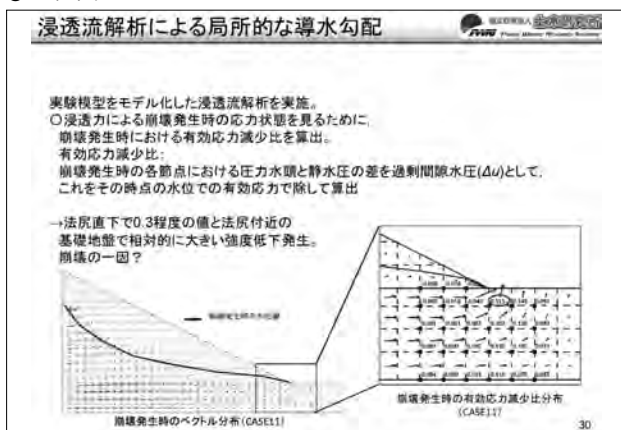
それで、これは本当に実際に先の先はどうなっているんだろうかということで、なかなか実験で計測できないので、解析をしました。これはメッシュ1個が1mmとかそのぐらいにすごく細かく切って浸透流計算をしてみました。(スライド27、28) それで

実際にパラメーターを実験に合うように設定して、本当に法尻の変形が進んだところってどうなっているんだろうということでは計算をしています。拡大したのがこれで、土というのは有効応力が低下すると強度を失うということですが、それがどのぐらい低下しているかという、本当に法尻の先端部分あたりだと約3割ぐらい強度が低下しているということが分かります。3割程度なんですけど、それプラス浸透流の作用がかかっているということが分かっています。

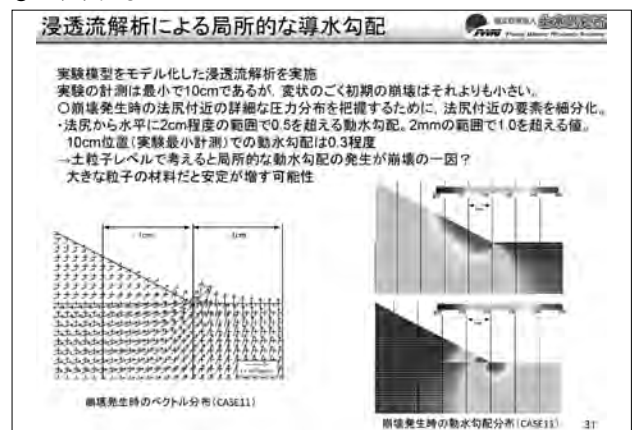
それで実際に法尻の本当に局所的なところでどれぐらいの導水勾配が出ているかという、先端を含めるともう非常に局所的に0.4とか0.5ぐらいの導水勾配が発生してきているということで、こういうところでやはり当然、いわゆる限界導水勾配と言われるんですが、粒子に応じて導水勾配が大きいと粒子が動かされるということになるんですが、そういう現象が解析的には起きているということが分かります。

それで実際に本当に局所的なんだと、ここを大きい石で置きかえてしまえば実は動かないんじゃないかなというように考えるわけで、これなんかは本当に数cmなんですね。局所的には。そうすると、ではここに大きい礫なり石を置いてしまえば止まるんじゃないかというように思うんですけども、それは実験的にはちょっとドレーンを置きかえるとこういう破壊というのは止まるんですが、実際にそうい

● スライド27



● スライド28





トレンチを置いて、こちら側から水位を上げて、砂層・透水層に圧力をかけて、それが無対策の場合と比べてどのくらい違うかということになっております。(スライド31、32) それで、これが無対策で、法尻からの距離で圧力がどう変わるかということで、これはグラフの下ほど水圧が高いんですが、同じ河川水位に対してやっぱりトレンチとかをやってあげると無対策に比べて水圧を低減させることができますよというのが分かります。

それで、こっちが水位をずっと上げていったときに、被覆土層の下の水圧がどう変わるかということで、こちらのグラフでは上が水圧が高くなっています。細い線が無対策です。無対策だと、水圧が上がっていくと、例えばこのケースだと3mぐらいのところに変異が出て盤膨れが起きるんですけども、トレンチをやっていくと水位が、例えばこのケースだと1.5倍ぐらいまでは保ちますよということが分かっています。効果はあるんです。実は理屈上は簡単で、浸透流の計算をすれば水が流れているので、被覆土層の水位は下がるということで、かなり効果はあるということは確認できています。

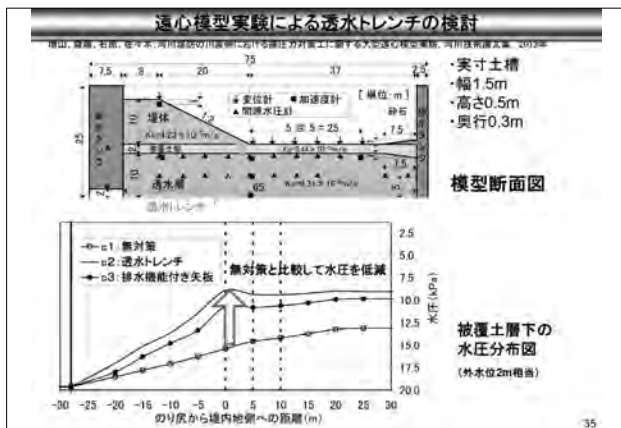
そういったことは分かっているんですが、実際になぜ設計が難しいのかということで、実は確認できているんですけど、排水能力、当然トレンチなり、あとは点で穴を開けていくという方法もあるんですが、そのときに結局、排水が追いついていないうちは水位を下げてくれるんですが、下からの排水が追い



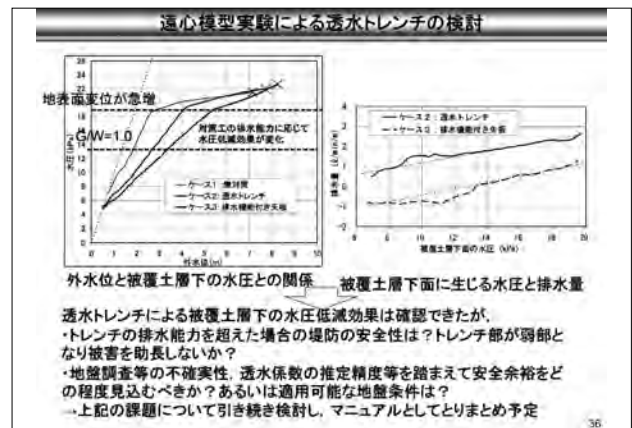
つかなくなると圧が溜まってきて、やはりどこかで吹いてしまうということで、そういう不測の自体があった場合にどうなるかというのが実はよく分かっていなくて、これは実験的に今、検討しているところです。実際には目詰まりとかすると、そこでポンと吹いてしまったりするという現象があって、目詰まりしないような仕様とかそういうのを今は検討しているところです。

それと、あとは最終的に設計なんですけど、理屈上は計算すれば出てくるんですね。水が流れて、水が排水されれば水圧は下がりますので。ただ、実際に設計するとなると地盤調査を透水係数とかを設定しなければいけないですし、当然、透水層の厚さとかも調べなければいけないということで、地盤調査が完璧にはできない状況の中で、どう安全余裕を見込んだらいいかというのがちょっとなかなか決め切れていないというところですね。なので、かなり安全側に設定すればいいのかもしれませんが、そうする

● スライド31



● スライド32



とかなり大きな規模になってしまったりして、ちょっと今こういうところでどのぐらいの安全余裕を持ったらいいかということで、なるべく早いうちにマニュアル化してまとめたいなと思っているんですが、今、頭にあるのはこういうところと、あとはトレンチで、碎石等で置きかえているんですが、そこは目詰まりしないようにどうするかとか、目詰まりした場合の維持管理をどうするかというところ最後の詰めをちょっといろいろやっているところで、これができると今まで矢板を打たざるを得なかったところも、もう少し安く対策できるかなというように考えています。

最後に、浸透関係で、「点検・診断法」ということで、これは堤防だけに限らず、河川構造物を含めた維持管理の重要性というところで、最近は笹子トンネルで構造物の老朽化対策ということで、河川構造物についても喫緊の課題ということ。それで、そういう中で点検・診断ということが行われているんですが、非常に数が膨大で、堤防の場合には延長が多かったり、その間にあるのは樋門とか樋管とか、こういう構造物がすごくたくさんあるということで、何とか合理的にできないかということで今取り組んでおります。(スライド33、34)それで、これは研究自体は国交省さんからお金をもらって、土研だけでなく、こういう非破壊検査とか、物理探査とかを物理探査学会と組んでやっているんですが、そういう形で診断と物理探査を含めた点検をもう

ちょっと合理化して、維持管理の合理化にできないかということです。

それで1つポイントは、まず診断についてですが、診断というのは「何か変状があったら直さなければいけない」というところが、現在ではそうなっているとありますが、なかなかそれだけでは追いつかないところがあって、「ではその変状は本当に堤防の機能にどうなの」というところをもう少し明確にしてあげることによって、変状を見つけたときに「これはもうちょっと放っておいてもいいかな」とか、「これは経過観測ぐらいでいいかな?」と、「これはもうダメなんで緊急的な対策が必要ですね」といったところを、もうちょっと明確に堤防への機能を定量的に評価するということによってその診断をもうちょっと合理化しましょうということです。

それで実際に本省さんが「診断の手引き」というのを今年3月に出して、そういう考え方が入ってきているかと思っています。ただ、なかなかやっぱり本当の被災のメカニズムとか、進行の影響を踏まえた段階的な診断というのはまだまだできていない部分というのがあって、そういったところに反映していければなということでやっています。対象としてはこういう樋門、樋管周りですとか、堤防自体とか、あとはコンクリート構造物とか、矢板材を使ったようなものを対象にして、今日はちょっと堤防の話と土の関係でお話をしたいと思います。

それと、あとは物理探査の話で、こういう堤防の

● スライド33

**背景・課題**

①樋門・樋管周り等の空洞化    ②コンクリート部材の劣化    ③鋼矢板部材の劣化

面下の空洞に係る漏水    母地の部分で大きな段差(不同沈下)    矢板連岸の腐食

堤防やコンクリート構造物、矢板護岸等は膨大な延長や箇所を上り、安全性確保のための適切な管理の実施には維持管理の合理化が必要

①河川構造物としての機能低下につながる変状の発生メカニズムと進行過程の明確化、真に危険となる変状形態とその程度を明確化  
点検・診断の合理化、対策優先度の設定、適切な補修・補強方法の選定

②物理探査等の非破壊検査技術の活用  
不可視箇所における点検の効率化や連続的なデータの取得等  
真に弱点となる箇所、区間を的確かつ効率的に抽出

➡ 点検箇所や要対策箇所を適切に絞り込むことにより  
維持管理の合理化につなげる

38

● スライド34

**研究目標**

項目

(1) 樋門・樋管周り等の空洞化に関する堤防機能低下過程の解明と非破壊検査技術の適用性の明確化  
(1-1) 空洞化に関する堤防機能低下過程の解明  
(1-2) 空洞化発生機序の解明  
(1-3) 断面法による高透水ゾーン抽出技術の研究開発  
(1-4) 堤防表層探査技術の研究開発

(2) 樋門・樋管のコンクリート部材の、致命傷に繋がる劣化状況の明確化と既存非破壊検査技術の適用性の把握  
(2-1) 致命傷に繋がる劣化状況の明確化  
(2-2) 既存非破壊検査技術の適用性の把握

(3) 樋門・樋管と矢板護岸等の鋼材の、致命傷に繋がる劣化状況の明確化と既存非破壊検査技術の適用性の把握  
(3-1) 致命傷に繋がる劣化状況の明確化  
(3-2) 既存非破壊検査技術の適用性の把握

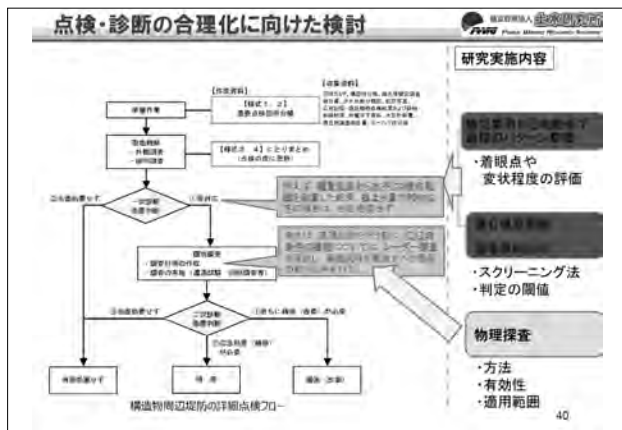
39



弱点箇所とかそういった箇所について、非破壊検査技術、物理探査等を使ってもう少し合理化するなり、正確に弱点箇所を把握できないかということと合わせて、セットで研究をしているというものです。それで研究の目的として、樋管とか樋門周りのこういうところの、どうして機能低下していくかということで、非破壊検査技術でできないかということと、あとはコンクリートですとか矢板とかをそれぞれ点検と診断法ということで研究をしています。ちょっと今日は堤防の方のお話をしたいと思います。

これは最終的な成果のイメージで書いているんですが、まず構造物周辺堤防の既存の詳細点検のフローです。(スライド35) 実際の実務では外観の目視調査を行って、抜け上がり量が多いとかこういった一次診断というのをやって、それで「なんかちょっとヤバそうだな」というものに対しては管内の調査、最終的には連通試験とかをやって、対策か、対策不要かというこういった判断をしているんですが、それぞれの例えば一次調査、外観調査でどういうものを連通試験をやらないかというのはなかなか定量的に示せていないというところがあって、既存のデータ等を収集してどれくらい外観が、例えば「抜け上がり量が何cm以上だったらこっちに行かなければいけないね」とか、「詳細点検が必要ですね」とか、そういうところの閾値を作るということを検討しています。

● スライド35



それともう1つは、連通試験を実際にやる前に、連通試験でしか、浸透に対するというか、堤防機能の評価というのは現時点ではなかなか難しいんですが、レーダ探査とかそういうものでできないかというところをやって、こういう点検の効率化につなげたいというように思っています。それで、今日はちょっとそっちのスクリーニングの方を考えております。

それで、堤防の樋門・樋管周りの空洞化なり、樋門・樋管周りの堤防の機能の低下ということで、幾つかパターンがあります。それで、いろいろな被災事例、変状事例というのを調べた結果、大きく分けて3つぐらいのパターンがあるのかなというように考えております。(スライド36)「A樋管」と書いてありますが、これは函体のクラックですね。例えば圧密沈下で古い函体にクラックが入るとか、これは地震の後の例なんですけど、地震によって堤防が沈下したのにつられて、函体にクラックが入るなり、函体自体の損傷によって開口してしまって、堤防の土砂が崩落するということが起こります。これによって出水時に管内の水が噴き出て、堤防が噴き出るとか、堤防が陥没するとか、そういう変状があります。函体の損傷が堤防に影響する場合があります。

それでこちらの「B樋管」というのが、これは函体の下の空洞ですね。あとは継手自体が開いてしまう。やっぱり堤防の変形に伴って函体が引っ張られて、それによって継手が抜ける。大抵止水板が入っ

● スライド36





ているんですが、そういった止水板の破損まで繋がってしまうと、堤防の陥没ということが起こる。これは実際の事例で地震の後なんですけど、地震の後の出水によって樋管周りに空洞化が起きた。

それで3つ目のパターン「C樋管」は、これは昔からよく言われている、軟弱地盤上で杭支持された樋管の下の空洞化によって陥没が起きるといふ形です。以上、大きく分けてこういう3パターンがあるかなと思います。

それで、それぞれのパターンについてどういう形で変状が進行していくか。じゃあ、そのときの健全性というのはどうなのかなということ、これはかなりポンチ絵的にまとめております。これは樋管、函体が破損するというパターンで（スライド37）、多いのは地震とか、基本的には基礎地盤の変形に伴うものと、堤防の沈下、基礎地盤の沈下等に伴って函体に力がかかってクラックが入るといふ事例が多いです。函体の劣化によってクラックが入るといふのはあまりなくて、こういう周りの堤防の変状に伴う函体の損傷といふのが非常に多いです。

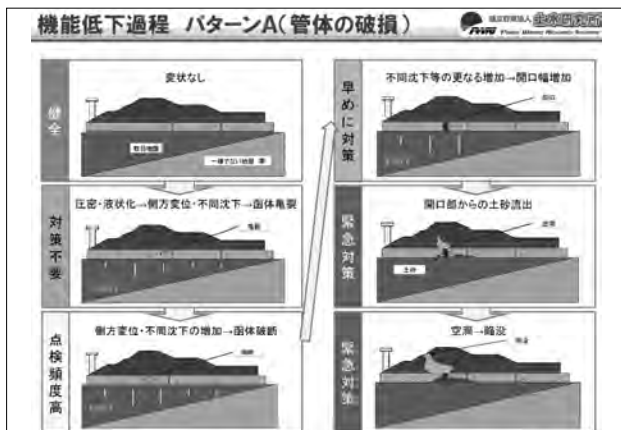
それで実際に圧密沈下の進行等によって函体にクラックが入ってくる。ちょっとしたクラックぐらいなら、堤防の機能としてはあまり問題はないといふことで、これは大体、診断のイメージを書いているんですが、「このぐらいなら対策不要かな」といふことです。函体はかなり開いてくると、「ちょっと点検に注意した方がいいですね」と。それで函体が

開いてくる、開口して裏の土が見えてくると、「これは対策が要るでしょう」と。それと土砂が流出するぐらいやると、当然、堤防の周りが緩んで陥没が進行しているといふことで、「これはもう緊急対策が要るでしょう」、「函体の周りとか、時間があるようなら堤防開削して置きかえるとか、そういう対策が要るでしょう」といふことで、こういう変状の定量に応じてこういう診断法といふのを提案しているといふことです。

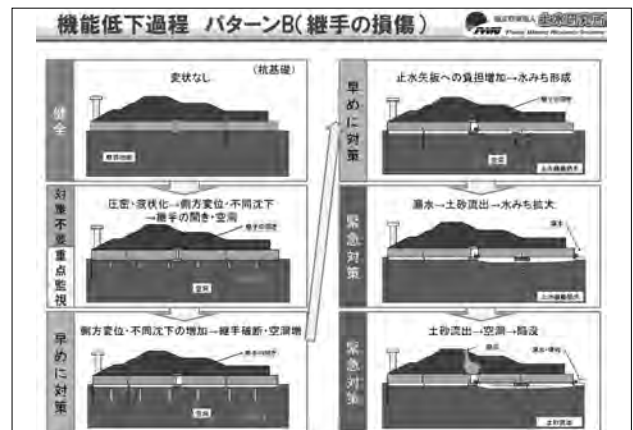
それで、こちらは次のパターンで（スライド38）、似たようなものですが、函体の継手、実際にこういう被害といふのは見られているんですけども、これも健全な状態といふのはこうなんですけど、例えば周りの沈下によって空洞が起きるとか、継手が開いてくると「要注意」ぐらいかなと、機能はしているので。ただ、許容値を超えるような開きがあると、「これはちょっと早目に対策をした方がいいですね」といふことと、開きがさらに開いてきて土がこぼれ出してくるような状態であると、これは緊急対策でしょうし、実際に陥没なんかが起きたら「これはすぐに対策だ」といふことで、こういった堤防機能への影響といふことで、これも診断できるんじゃないかといふことで考えております。

これが昔からよくある杭基礎で支持された構造物の診断といふことで（スライド39）、これも圧密沈下の進行によって空洞ができてくるんですが、これも空洞があるぐらいなら、実際には止水板とかが

● スライド37



● スライド38



入っていますので、すぐにアウトというわけではないんですが、当然、空洞が大きくなってきて止水板への負担が大きくなってくるとアウトでしょうし、空洞があってそこに土砂が流出し出すような場合というのは、堤防自体に緩みとか陥没が起きてしまうということで要対策だということで、こういう観点での診断というのができるんじゃないかというように考えております。

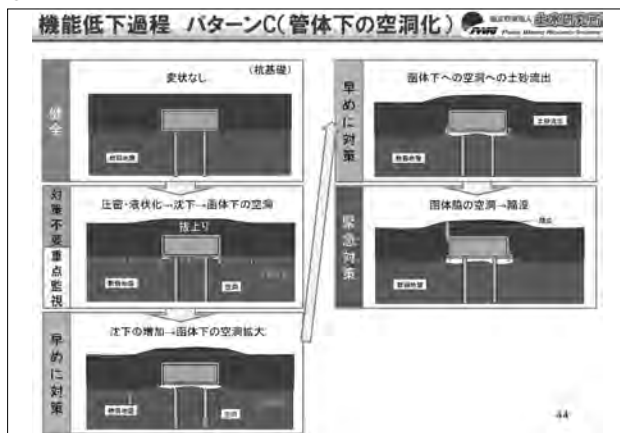
それと実際に空洞の抜け上がりの方なんですが、一次的なスクリーニングとしてはやっぱり外観から調査するしかないということで、国交省さんで点検された過去のいろいろな事例というのを集めました。それで、その堤防天端の抜け上がり量と、実際に空洞があったか、なかったかということ。これも削孔して調査された箇所データののみを集めてやりました。(スライド40) そうすると、やっぱり2cmぐらいの抜け上がりだと空洞化が起きているという



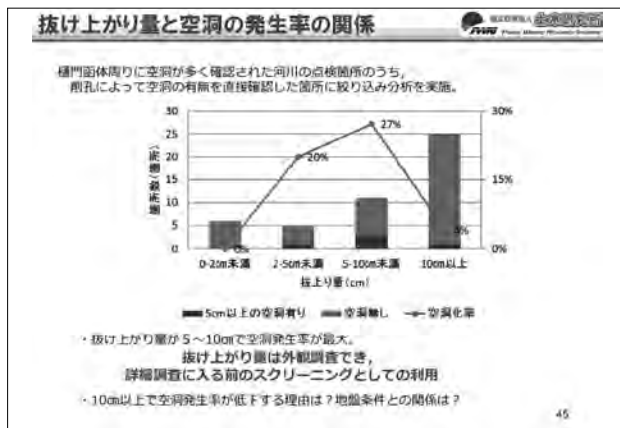
のではないんですが、2~10cmぐらいだと空洞率が上がってくると。逆に10cm以上の抜け上がりが減っているとすると、これはたぶん、対策をしたんだと思いますが、こういう傾向があって、やっぱり抜け上がりが多いと空洞が実際に発生してくるということが分かっていますし、要するに抜け上がりというのが1つの空洞の発生の有無をあらわす1つの指標としてはやはり有効なのかなというように考えています。

ただ、細かく見ていくと、なかなか実際の空洞量との関係は対応していなくて、実際は地盤条件によって随分違うぞということが調べていくと分かってきました。それで、実は実験をやっている、函体下の地盤条件の違いによって、どのぐらい抜け上がり量と空洞の関係が違うかというのを実験でやっております。(スライド41) これは遠心模型実験というものですが、これが函体で、基礎地盤が粘土地盤、それでこの函を杭支持して、その上に周りを堤防を

● スライド39



● スライド40



● スライド41



模擬したようなものを作ります。遠心実験というのをやって、この粘土層を強制的に圧密させます。それによって圧密によるこの函の下の抜け上がり、そこが空洞化、というのを再現するような実験をやりました。これは地盤条件を変えたというのは、函体の下が圧密するような粘土地盤で、カオリンというのは白い実験用の粘土なんですけど、粘土で作った場合と、直下に砂層を挟んだりした場合ということで実験をしております。

これが実験です。こっちが粘土だけ、それでこっちが間に砂層を介在しているような場合です。(スライド42、43) これを見ると実は粘土地盤だとやっぱり圧密するから空洞化しやすいと思いがちなんですけど、実は粘土が非常に弱いと、周りが圧密沈下しても、粘土が弱いのでこの穴を埋めようとする動きをして、実際に空洞というのは若干、発生も遅いし進行も遅かったということがあります。逆に砂をか

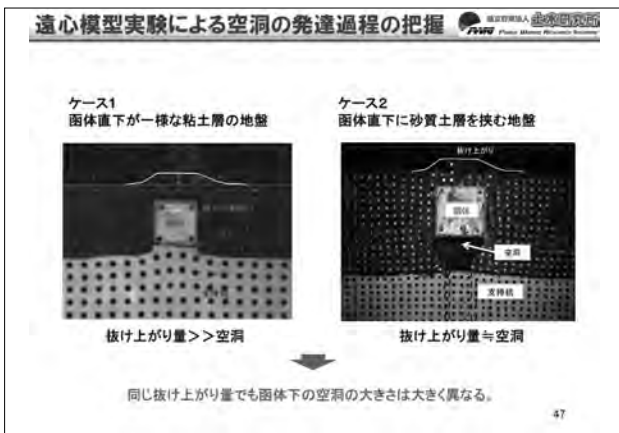
んでいると砂の方が強度が強いので、周りが沈下するとそのまま引き込まれてしまうんですね。これをなかなか埋めてくれないと。実際に空洞の成り方は下に砂層があった方がよかったです。当然、砂層は圧密沈下しないので、砂層の下に粘土層があって粘土が圧密沈下して、こう砂層がある場合ということなんですけど。

そういうことで、冷静に考えてみればそうなのかなど。ここは粘土の方が弱いので埋めてしまうんですけど、下に砂層があり、その下の粘土が圧密沈下すると、ここが強度を持って回り込まないので空洞の進行が早いということです。

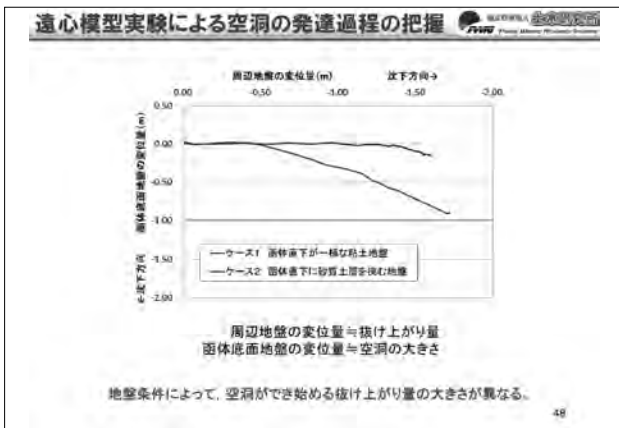
これは実際に、周りの変異と空洞の発生の大きさというのをやると、こっちが砂層なんですけど、砂層だとやっぱりちょっとした抜け上がりでも空洞がどんどん進行してしまっていて、粘土の場合にはある程度沈下が進んだところから進む。こっちの場合には粘土が弱いので、空洞を埋めるような形で粘土が変形してくれるということで、かなり地盤条件によって違うということです。ですから、単に抜け上がり量と空洞というのでも、地盤条件によって随分違いそうだとということで、先ほどのデータというのでも地盤条件の関連も含めてスクリーニングして、もう少し精度を上げていきたいなということで現在は取り組んでいるところでございます。

次に、物理探査の活用ということで、いろいろな物理探査法があって、今考えているのは、ちょっと

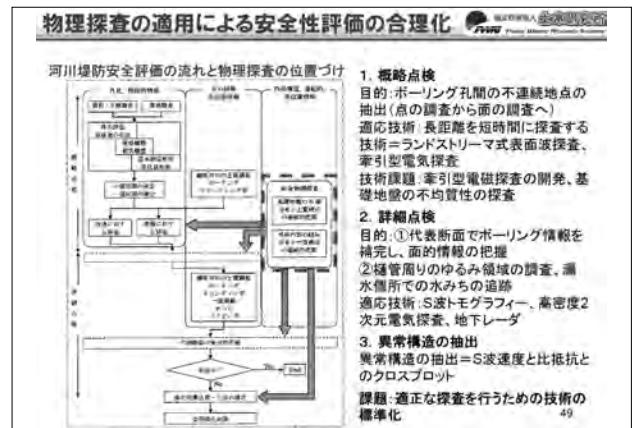
● スライド42



● スライド43



● スライド44



先ほど詳細点検の流れというのをやりましたけれども、例えば一連区間の設定とか、弱点箇所抽出ということで、かなり被覆土層の薄いところは弱点になっておりますが、なかなかそれをボーリングとかで見つけるのは難しいということで、そういうところに物理探査をかませて、連続的に調査することによって、そういう弱点箇所を抽出できないかということで取り組みをしております。(スライド44、45)

それで今、先ほどの事例とかでもあったんですけども、浸透に対して弱点箇所の抽出ということで、今6割が浸透調査でアウトということで、それについてどう対策していくかということで、優先順位をもう少しつけたらいいんじゃないかということで、これはいろいろ本省さんの堤防の委員会の方で検討されていると聞いていますが、そうした中の1つの指標として、先ほどの事例もそうなんですが、やっぱり被覆土層が薄いところが被災しているということがあったので、こういうところが目安であります。

では、こういう被覆土層の厚さを測るにはということで、簡単なサンプリングを行ったり、サウンディングしたりということが1つの考えとしてあると思いますが、ではそこに物理探査をかませて連続的に取ればもう少し被覆土層の薄いところ、弱点箇所というのを抽出できるんじゃないかということです。そういうところに使えないかということで、実際の漏水等の被害があった箇所で適用性というのを検討

● スライド45

**浸透に対する弱点箇所の抽出**

- 残る要浸透対策区間の延長は、依然として長い。
- 堤防強化対策の効率的・効果的な実施のため、相対的に危険度の高い区間の抽出方法について検討・試行しているところ
- 重視すべき項目等、裏のり勾配や平均動水勾配、被覆土層の厚さが挙げられている

被覆土層の厚さの確認方法：  
簡易サンプリング等

【物理探査と比較した場合】  
長所：直接、土を確認することができる  
短所：ボーリングに比べれば安いものの、経費も時間もかかる。  
連続的なデータではない。

簡易サンプリング等と物理探査を併用すれば、経費節減、連続データの取得が可能になるのでは？

50

しています。

これは北上川で、川裏側で漏水があったような箇所、これに沿って物理探査をやっています。物理探査としては表面波探査ですとか、あとは「GPR」という地中レーダを使った探査を行っております。(スライド46、47)

結果、これが漏水箇所の断面図で、この辺で漏水しているんですが、これを拡大したのがこれです。これは実際に漏水があったところをサウンディングを数十mピッチでバーツと打っていきました。実際に被害があったのはここで、被害区間を書いてなくてすみません。これが地表面で、このラインが被覆土層の厚さです。やっぱり被覆土層の薄いこの部分で被災がありました。これは後からサウンディングで細かくやって分かったんです。この下が礫層です。サウンディングだと入らないような礫層があったということが分かっています。実際に漏水被害が

● スライド46

**漏水箇所での探査手法(GPR, 高密度統合物理探査)の検証**

図1 調査実施位置 漏水箇所の位置で実施した

調査項目	調査条件	調査結果	調査地点
表面探査	SR: 71.5m(法内) PR: 23.5m(法外)	深層0.3m探査 深層1.0m探査	SR14
2次元電気探査	E: 71.75m(法内) E: 23.75m(法外)	電圧電極0.5m 電流電極1.0m 電流電極間隔0.25m	SR13

図2 2次元電気探査から求めた比抵抗構造

51

● スライド47

**漏水箇所での探査手法(GPR, 高密度統合物理探査)の検証**

図4 周辺の土質構成 1.2mの直土の下は4.2mまで砂礫層、4.9mシルト質砂、17.4mまで硬交り砂層。中央のボーリングの位置は検査測線の段差の位置

図6 カロスプロットの例

①p=500Om, Vs=250m/s  
②p=500Om, Vs=200m/s  
③p=500Om, Vs=150m/s

図7 比抵抗値とS波速度とそれぞれの関係を確認し、特徴ある土質を判定する。①では、比抵抗は高比抵抗、高速度であることから特に礫の多い層の範囲を示す。②の帯領域はやや速度が低い層層で、礫の多い領域を示す。③の帯領域はさらに速度が低い、礫の少ない層層に示唆が認められる。

52

ここで起きている。

これに対して地中レーダをかけた場合、そうするとこの波は何かしらの境界面をあらわしているんですが、この形状は一応は出てはいます。これを見つければというの、これは職人技だと思いますが、ただ、何かしらのものが見えると。

こちらは比抵抗で見ても、何となくここにあるということが分かります。これは統合物理探査という、比抵抗とS波速度を測って、よくある「クロスプロット」というもので、これを横軸にS波速度、縦軸に比抵抗とやって、それぞれの点がどうなるかということで、一般的にS波速度が小さくて、比抵抗が高いと。それでS波速度が高いと言うことは、固い地盤で、比抵抗が高いというのは水をあまり含んでいないということで、この辺が礫っぽいと思われる。礫とか固い砂と。それで、この辺が粘土っぽい。この辺で、今は色で赤、黄色、青と分けていますけれども、この断面をクロスプロットで分けると、やはり何となく被覆土層っぽいところは水色になっていて、ここに礫層があるんですが、ここは赤で出ている。ただ、この色の分けをどうするかによって見え方というのは変わってくるので、この分ける部分を、同じデータですが、色分けの閾値を変えたものです。

いずれにしても、ここに何かありそうだというの、は分かってくる。だから、これぐらいなら分かる、ちゃんと分かる。ただ、なかなか基準値をどうするかというのがあります。だから実際は物理探査だ

けではなかなか難しいんですけども、例えばサウンディングとこれを併用することによって、サウンディング数本+物理探査をかますだけでこのぐらいのことは予測できるだろうということが分かってきているんですね。ということで、なかなかサウンディングもかなり細かくやっているんですが、これを堤防全川にやるわけにいかないんで、こういった物理探査とこういったサウンディングとかボーリングと併用することによって、こういう先ほどの物理探査の閾値を逆に設定してあげる。その現場、現場で設定してあげることによって、これぐらいの何か異常がありそうな箇所が見つけれそうということが分かっています。

そういうわけで「今後の課題」というところで、これは堤防の先ほどの変状ですね。やっぱり健全性判断を、何かしら変状があるんですが、それを健全性との関係で診断法というのをもうちょっと高度化していきたいということです。(スライド48)

あとは物理探査については、今も言ったんですが、物理探査ひとつだけで全部判定するというのは現時点ではなかなか難しいのかなと思います。ただ、やっぱり前後のボーリングデータとか、先ほどのサウンディングを併用することによって、かなり面的に、少なくとも弱点となりそうな、異常がありそうな箇所というのが見つけれそうということがありますので、単に物理探査で全部やるんだということではなくて、物理探査と他の手法をどう組み合わせ

● スライド48

今後の課題

- 変状の要因、機能への影響、進行程度を踏まえた健全性判定の閾値等の検討。
- 堤防に対する物理探査技術を、異常部検出・連続性判定手法として活用するための標準的な方法(周辺の既存ボーリング結果を用いた解析方法や閾値の設定等)について検討する予定。
- 得られた研究成果は、点検マニュアル等にとりまとめる予定

● スライド49

堤防の地震被害の歴史と原因

• 度々被害を受けてきた。原因は、液状化。  
• 基礎地盤が主であったが、北海道では以前から堤体の液状化による被災が見られた。

56

やれば弱点箇所を抽出できるかという手順みたいなもの、そういったものを最終的にはマニュアル等にまとめていきたいなということです。幾つか事例を含めてこういう検証をしていて、最終的にはマニュアルを、なるべく今年度中ぐらいには何とかしたいなと思っていて、提案していきたいなというように考えております。それで、というところで浸透関係は一応終わり、耐震関係のお話に移りたいと思います。

耐震関係はいろいろあるんですが、耐震基準は先ほど紹介した阪神のときの淀川の事例からいろいろ耐震対策等が進んでいるんですけども、その経緯と、平成24年に東日本大震災を受けて耐震の指針等を改定しているんですけども、そこの背景と、あとは今年度の改定に向けて取り組んでいる内容についてご紹介したいと思います。

経緯については、あまり時間もないので簡単に飛ばしていきたいと思います。過去の地震でかなり被害は出ているんですが、いずれの被害も堤防の地震の被害というのは液状化になります。液状化というのは基礎地盤が液状化したり、あとは東日本大震災のときに注目された堤防自体が液状化してしまうという現象があるんですけども、そういったものです。(スライド49)

それで、これはきっかけになった、先ほども紹介された淀川の事例です。淀川の西島というところで、これは基礎地盤の液状化でこういう大規模な被害が

起きたということです。(スライド50)

堤体自体が液状化するという現象については、東日本大震災で注目されたんですけども、実はもうちょっと前にも同じ現象が起きていて、1993年の釧路沖地震、あの辺は湿地で、泥炭層があって非常に軟弱な地盤があって、その上に築堤したところの堤防で、1993年の釧路沖地震のときにこういった堤体自体が液状化する被害が出ています。(スライド51)ただ、このことは北海道特有なのかなということ、あまりメインな被害だとは思われていなかったんです。ですから、耐震対策ということで東日本大震災までは基礎地盤の液状化対策がメインだったんですが、こういう現象もないわけではなかったということです。

それで堤防の液状化被害、どう壊れるかということで、これは基礎地盤の液状化の実験ですね。ちょっとイメージを掴んでいただいて、これは下が液状化しやすい砂層、上が堤防になるわけです。これは基礎地盤が液状化していきます。今これを揺らして、この辺がだんだんとタップアップしている。メッシュが樽状になっていくのが分かるかと思います。

これは遠心実験というものでやっています、実際は遠心実験ですと相似則でかなり早く終わるんですが、これは高速度カメラで撮って実スケールに合わせてあります。ちょっと元がどこか分からないかもしれませんが、この辺にあった堤防が、基礎地盤、この黒いところが液状化層になっていて、これ

● スライド50



● スライド51



が液状化することによって沈下する。それで周りは側方に流動しているということで堤防の沈下とクラックが入るということです。

これはマンガ画で示したものでして、(スライド52) 下のこの赤いところが液状化すると、ここが強度が低下する。極端に言うと水みたいになって、重い物が沈下。それで当然、ここにあったものが横に広がるということです。特に基礎地盤が横に広がるということで、天端縦断のクラックがたくさん入るということです。それと、ここが液状化すると、液状化で発生した過剰間隙水圧が消散するということで、液状化層自体が体積を圧縮して沈下するというようになっております。

それで全体的な傾向として、昔から言われている地震時の堤防の沈下ってどのぐらい起きるのかということで、これは過去のデータをパーッと記したも

ので、よく「75%ルール」と言われているんですが、堤防の沈下は75%ぐらいですよ。25%は過去の事例から残るといことが言われていて、こういう関係がありますということです。(スライド53)

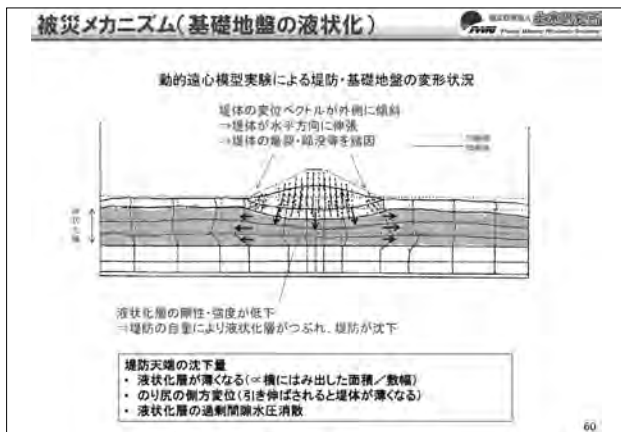
それで実際に過去の地震でどういうところで堤防の被害があったかということで、これは微地形ごとにやりましたということです。(スライド54)

これは過去の地震における沈下が例えば3mぐらい起きるといのは、いわゆる干拓地です。干拓堤防とか、あとはこれはあくまでも治水地形分類図とかの地形なので、一般的に埋立地とかは干拓地とかになってしまったりする場合がありますが、埋立地とか干拓堤防というのがやられます。

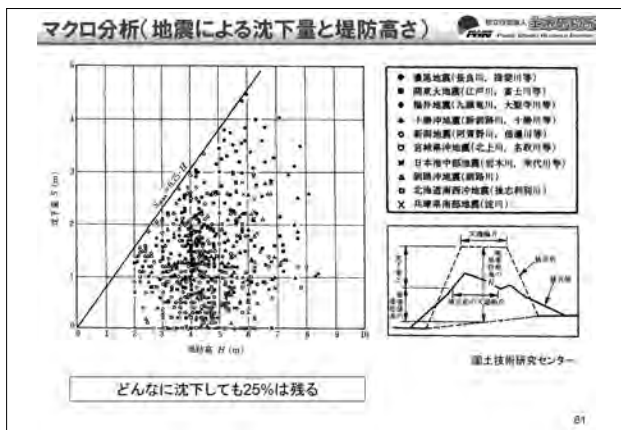
次にはこういった氾濫平野とかが出てくるということで、こういうようになり地形的にもやられやすい箇所というのが分かっていて、例えば堤防の耐震点検マニュアルなんかだとこういう地形によるスクリーニングということで、こういう旧河道とか、落堀とか、干拓地、こういうところは極大ですよとされています。次に可能性があるのは、自然堤防とかこういう箇所。微地形である程度液状化の被害の可能性といのは、過去の事例からもこういう傾向があるということが分かっています。

それで、地震の耐震対策といのは平成7年の阪神淡路大震災の後から進められているんですが、当時はなかなか変形解析といのはできなかったのので、基本的には円弧すべりの計算です。(スライド

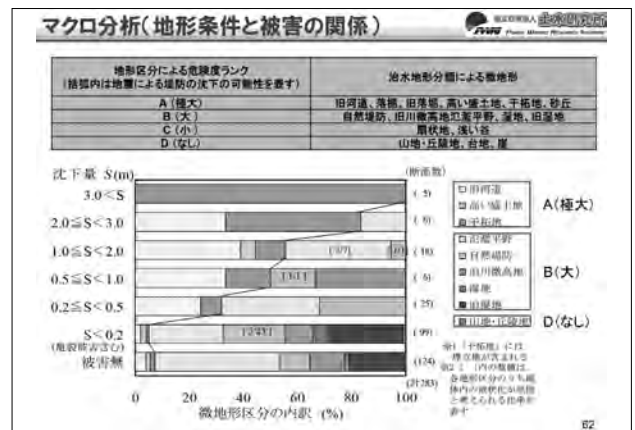
● スライド52



● スライド53



● スライド54





55) 「ΔU法」と言われていますが、地震による過剰間隙水圧の発生、液状化判定の結果から求めて、それによって円弧すべりの計算をやっていました。それとあとは円弧すべりの安全率と、沈下量というのも過去の経験式でエイヤツと求めてやっていたと。それで照査自体は現時点と変わらなくて、河川水位が越流しないことを求めるということで、この沈下量が河川水位に対して下回るかどうかということで照査していたということでやっております。

それで、これは平成19年に河川構造物の耐震性能詳細指針というのが出て、いわゆるレベル2地震対応というのをやっております。(スライド56) 先ほどの阪神以降は照査法が円弧すべりで、塑性安定計算といってもなかなか、レベル2だとどこもかしこもアウトだということで、基本的にはいわゆるレベル1に対してこういう照査をしていたんですが、この平成19年からレベル2地震動に対する照査という

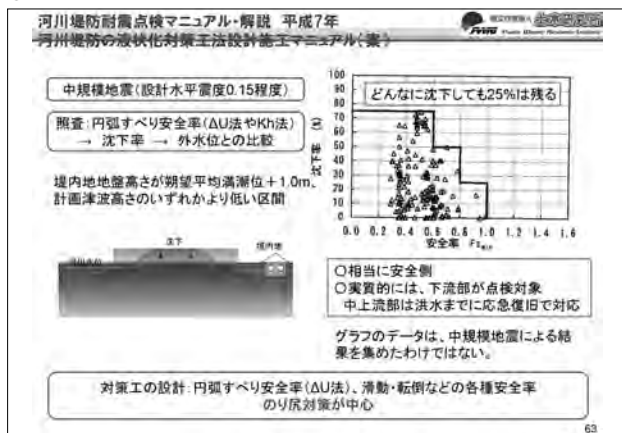
ことで、実際の堤防の沈下量自体も簡単なFEM解析、「静的な自重解析法」と言っていますが、液状化の影響をこういう地盤の剛性低下として見て、自重解析で沈下を表現するというので、こういう方法によってやっています。

実際に照査自体は先ほどの阪神の後と変わらずに、河川水位に対して堤防天端高が下回らないということを確認させていたということなんです。

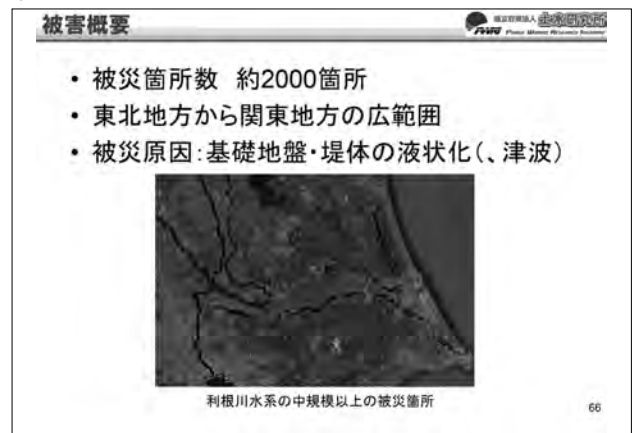
こういうところで東日本大震災が起きたんですが、被災箇所2,000箇所以上ということで、かなりの数に上っています。これは関東だけでもこのぐらいの箇所がやられたということで、やっぱり原因としては津波もあるんですけども、津波以外ですとやはり基礎地盤ですとか、堤体の液状化でしたということになっております。(スライド57)

それで地震の発生エリアが非常に大きくて、被害が甚大だったということ。特によく言われたのが、

● スライド55



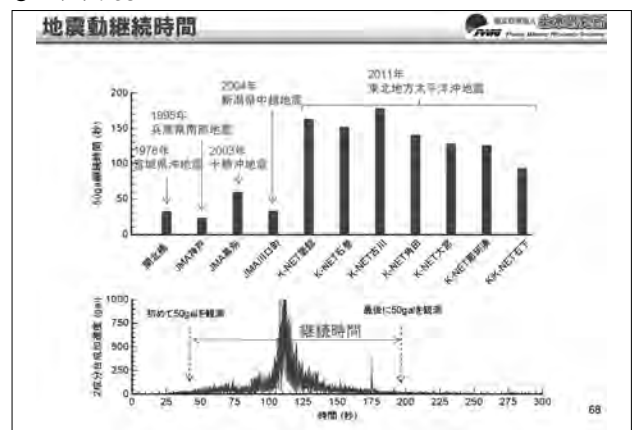
● スライド57



● スライド56



● スライド58





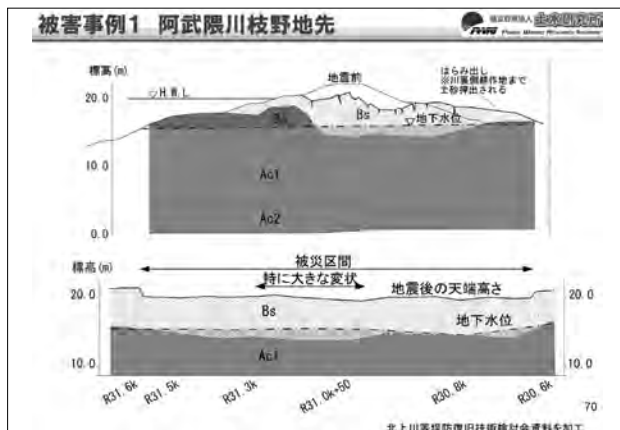
東日本大震災の地震動の継続時間ですね。液状化というのは地震の大きさもあるんですが、地震動の継続時間が長いと液状化もしやすくなるということが分かっていて、やっぱり東日本大震災は非常に継続時間が過去の地震と比べても長かったということが、液状化による被害を増大させたと言われております。(スライド58)

これはひとつの事例で、冒頭に紹介したんですけども、阿武隈川の枝野というところでもかなり壊滅的な被害を受けております。(スライド59) それで特徴的なのは、天端が2m以上沈下しているんですけども、川裏が耕作地なんですけど、実はこの耕作地には全然変状はなくて、堤防自体が崩壊して上に覆いかぶさっているということで、変状はほとんど堤防の中で起きているということが特徴的でした。これが基礎地盤の液状化なんかですと、地盤自体も動いてしまうのでそういうことはない。

● スライド59



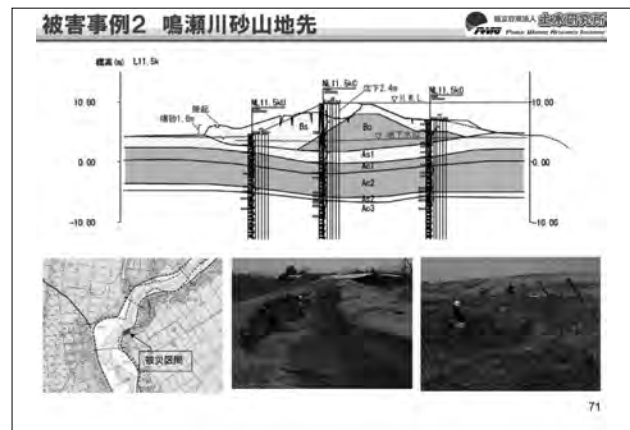
● スライド60



それで、これは先ほどのところの断面図(スライド60)になっておりまして、基礎地盤はAc層とかの粘土地盤で、液状化しないような地盤です。そこに今、旧堤のBs層があって、その上に腹付け、嵩上げた。これはBsになるから砂層ですね。砂で腹付け拡幅したところなんです。これは堤防が下が粘土地盤なので沈下しています。これは地震で沈下したんじゃないで、恐らく築堤によって圧密沈下で沈下していったものと思われて、地下水位がこの中にあったということです。それで、この変形モードから推定するに、この嵩上げたBs層と地下水位以下まで沈下したこの部分、この部分が液状化することによって堤体自体が崩壊したというように考えております。

これは下が縦断方向です。それで被災区間というのがこれだけあって、特に先ほどの写真のところの特に大きな変状だったところがここなんですけど、これはかなり細かく東北地整さんが縦断方向にわたって地盤調査も行っています。これは堤防の天端なんですけれども、基礎地盤はやはり同じく粘性土なんですけど、やっぱり被害が大きかった箇所ほど元々の堤防がめり込んでいたり、地下水位がやっぱり高かったということが分かっております。ですからやっぱり圧密沈下が大きくて、こういう砂層堤防の築堤材料の砂が地下水下にめり込んでいた箇所被害が大きくなっているということが分かっています。

● スライド61



これは鳴瀬川ですが、これも似たようなものでして、これはAs層がかんでいるんですけども、その上に築堤するとやっぱりこの下に粘土層があって、その辺が大きく圧密沈下している。今は旧堤のBcが川表側にあるんですが、こちらは全然変状はないんですが、川裏側の砂で拡幅した部分だけがガサッと崩れているということで、これも拡幅した部分の堤体が液状化していると思われます。(スライド61)

それで、こちらは利根川の事例でして、これも同じく利根川もかなり地盤の緩いところが、三和地先でして、盛ったのと同じぐらい沈下している。かなり圧密沈下がはっきりしているところなんですけど、やっぱりこういうところだと、砂で盛ったBs層というのはかなりめり込んでいて、ここの液状化によって川裏側が崩壊したということです。(スライド62)

それで今もお話をしたんですが、こういう堤体の液状化のメカニズムということで、周りが粘土地盤で、こう築堤すると圧密によって沈下するという事です。そうすると、ここに水が溜まってしまう。それで地震を受けるとここが液状化して崩壊しますということです。(スライド63)

それで、こういうパターンがどういったことでできるかということで、まあ、圧密沈下が激しいということですね。(スライド64) 今ご紹介したように、築堤して圧密沈下でめり込むと、そこに砂がめり込んで水が溜まるパターン。もともと旧河道とか、旧



湖沼を埋めてしまった場合ですとか、あとはこれはよく干拓堤防にあるんですが、河川水が常に堤内地よりも高く、常に浸透水が堤体の中に生じている、こういうパターンでも起きている。特に干拓地なんかはこのパターン。このパターンとこのパターンで複合したりもするんですけども、被害が大きいということの一因になっているのかなというように考えてございます。

● スライド63

### 堤体の液状化メカニズム

(1) 地震前  
基礎地盤が粘性土、堤体は砂質土から構成され、堤体下面が下に凸の形状となっている。基礎地盤の透水性が低い一方で堤体の透水性が高いため、堤体中に浸透した地下水が堤体下部に溜まり、常時飽和状態とみられる。常時には豊富な基礎地盤より堤体土は地質学的にため、堤体下部の飽和した砂質土は川表側あるいは川裏側のみに存在することもある。

(2) 地震発生～液状化発生  
地震動によって堤体下部の飽和砂質土が繰返しせん断を受け、連断層部水位の上昇とともにその剛性・強度が低下する。特に、堤体下部の砂質土がゆるい場合は、飽和域の砂質土が動的的に変形する。

(3) 液状化発生～変状の進展  
堤体下部の飽和域の液状化により、飽和域より上方の堤体土が水平方向に伸縮変形する。このため、のり層、のり層、天端にわたって連断層部方向の亀裂が発生する。のり層部の水平変位が小さい場合はのり層付近はらみ出す程度の変位にとどまるが、のり層付近の水平変位が大きい場合は亀裂が進展して飽和域より上方の堤体土がいくつかの土塊に可断される。この天端付近の土塊が沈下・傾斜することで、天端に陥没・傾斜を生じることがある。また、変状を生じたのり層付近から液状化した堤体下部の砂質土が流出して噴砂として見られる場合や、開口した亀裂に液状化した堤体下部の砂質土が流入し、沈下した元の天端付近やのり層、のり層付近に噴砂として見られる場合がある。

73

● スライド62

### 被害事例3 利根川三和地先

関東地方整備局提供

72

● スライド64

### 堤体の液状化の素因形成パターン

その1 圧密沈下

(1) 軟弱粘土地盤に盛積 (2) 圧密沈下、ゆるみの発生 (3) 不均等による溜り発生 (4) 堤体液状化の素因の形成

その2 旧河道、旧湖沼の埋立て

(1) 下に凸の水溜り (2) 埋立て、築堤 (3) 不均等による溜り発生 (4) 堤体液状化の素因の形成

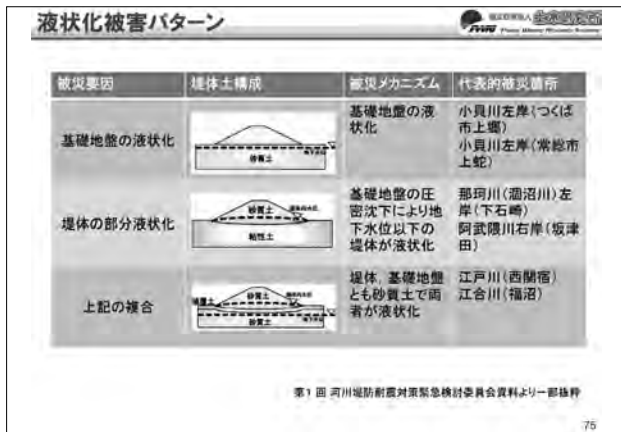
その3 河川の平水水位が高いパターン

基礎地盤が粘性土でなくても、堤体下部に飽和域を形成  
河川水が常に堤体下部に浸透し、常時飽和状態

74

その他のパターンとしては、基礎地盤の液状化によるもの。これは先ほど阪神の淀川のパターンということで、特に東日本などは細かく調べると、今までご紹介したように堤体自体が液状化してしまう、あまりこれまで耐震照査の対象としていなかったような、そのパターンが多かったということが今回の東日本の特徴になっております。(スライド65)

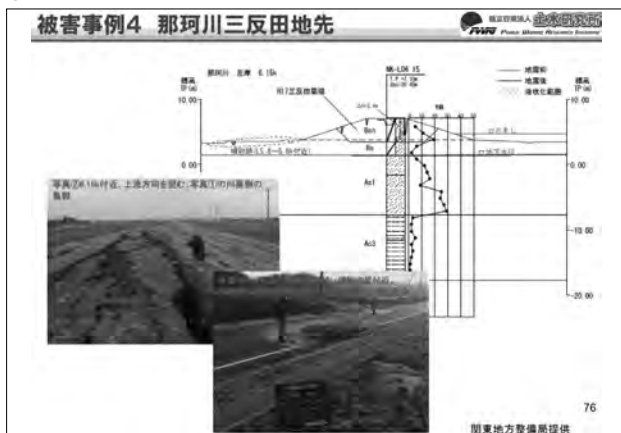
● スライド65



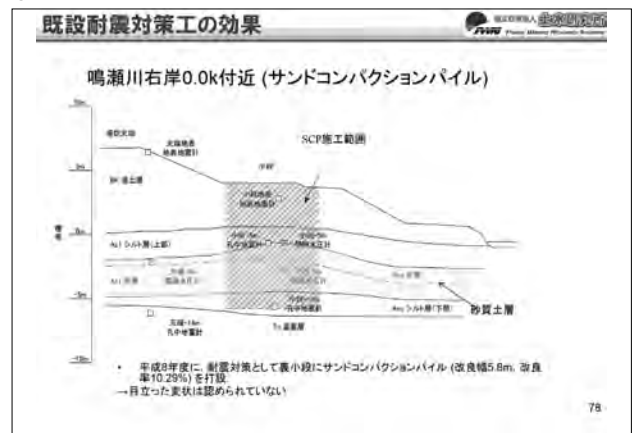
それでその他、これは基礎地盤の液状化の事例なんですけれども、これは茨城県の那珂川です。(スライド66、67) これは基礎地盤の液状化ということで被害を受けています。下にAs層ですとか、これは埋め立てもあったんだと思いますが、基礎地盤自体がBs層ということで、実際に被災区間はここなんですけれども、もしかしたら旧河道かなと思いますが、川裏側は耕作地全面にわたって噴砂が見られるということなんです。

あとは東日本大震災では、阪神淡路大震災以降に液状化対策を行った箇所でも地震動を受けておまして、そういう箇所についてもいろいろ調べました。これは鳴瀬川で阪神以降、ここに「サンドコンパクションパイル」という基礎地盤の液状化対策を行った箇所です。(スライド68、69) ここは津波を被っているんですが、天端道路が通っていて、特に大きな変状がなく、津波をちょっと被って見た目があれ

● スライド66



● スライド68



● スライド67



● スライド69



ですが、特に被害はないということで、対策工が効果としてあったのかなというように考えております。

それと、これが茨城県的那珂川です。(スライド70、71) ここの被災がない箇所と被災があった箇所、被災が連続している箇所なんですけれども、周りは液状化とかが起きていますけれども、そこで被災があった箇所というのは対策をしなかった箇所。こちらはドレーンをやって、対策している箇所では被害がなかったということで、ある程度は対策の効果というのがここでもあったのかなと思います。

それでその他ですが、あとは浸透対策等もどうも地震でも効いたっぽいところがあって、これは鳴瀬川水系の鞍坪川というところで、ここが2003年の宮城県北部地震のときに堤防の法すべりが起きていて被害を受けたところです。(スライド72) それに対して復旧のときに、法尻にドレーン工を置いたり、

護岸工を置いたり、止水矢板を打ったりとか、こういう対策を浸透対策と合わせてこういう対策をやっていた箇所なんです、前回の被災の2003年の地震では崩壊したんですが、今回の東日本大震災のときは川裏側はほとんど動いていない。川表は天端に若干クラック等が入ったんですが、天端が沈下するようなことはなかった。もしかしたら、こういった浸透対策が、法尻をドレーンで止めるとかこういうのが地震対策としても有効だったのかなと考えております。地震動自体は2003年よりも今回の東日本大震災の方がずっと大きくて、それでもこの程度で済んだということで、こういう対策が効いていたのかなというように考えています。

それで、その他、護岸工等があった場合なんですけれども、これもここまで護岸があって、その先でガーッと崩れているんですが、護岸もある程度変形を止める効果があるのかなあとということで、なかなか

● スライド70



● スライド72



● スライド71



● スライド73



か定量的な評価は難しいんですが、事例からいろいろ調べると護岸があるところほどそんなに被害は大きくないという傾向はあって、やはり定量的評価は難しいんですが、定性的には何かしら押さえの効果があるのかなということが分かっています。(スライド73)

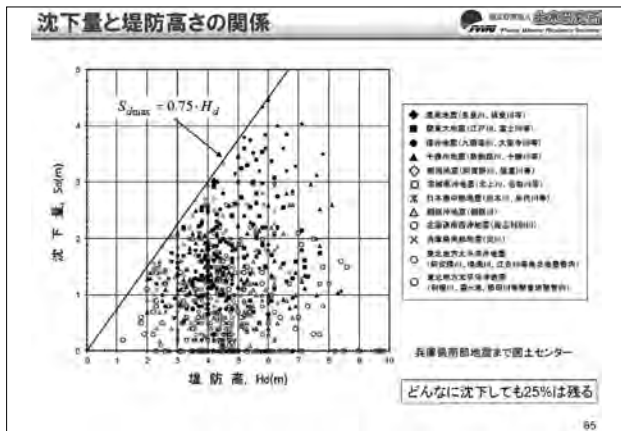
これまでが大体事例としてなんですけれども、では実際に今までやった対策とどう評価されるのかということで、堤防の沈下、過去の大体75%ルールというか、75%以上は沈下しないというのがあるんですけど、今回の東日本大震災の事例でも、これは色がついているのが東日本大震災の事例なんですけど、やっぱり75%以内には収まっているということが分かっています。(スライド74)

それと微地形ではどういうところがやられているかということで、これは東北の鳴瀬川と利根川で調べています。(スライド75) この鳴瀬川だと自然堤

防ですとか、氾濫平野というところで起きております。これは恐らくなんですが、堤体の液状化が鳴瀬川で多かったということも反映していると思います。一方、利根川ですと、やっぱり昔から言われている旧河道とか、そういうところで起きています。旧河道ですと基礎地盤の液状化というのが原因として考えられるということです。若干、東北と関東では傾向が違ったということがありますし、実際に鳴瀬川の場合には昔から、1973年の宮城県沖地震の場合には、実は旧河道がやられていたんですが、過去の地震でも旧河道の堤防が壊れまくって、強化して直していたというところもあるのかなと思っています。

あとは地震の強さとの関係とかも整理しております。(スライド76)これは地震動の大きさなんですが、実は地震動の加速度が大きいほど被害が大きいということ、そんなことはなくて、実は、最大加速度で言うと400~500ぐらいのほど被害が大きいということが分かっています。というのは、加速度が大きいところは大体、地盤がいいんです。ですから、そういうところは実は被害が少なく、いわゆる軟弱地盤だと加速度の値自体は、最大値自体はそんなに大きくないんですけども、ただ、こういうところで被害率が高いということで、逆にSI値なんかになるとやっぱりSI値が大きい。軟弱地盤なんかはSI値が大きくなったりするんですが、やっぱりこういうところで被災率が高くなってくる。100以上とかです

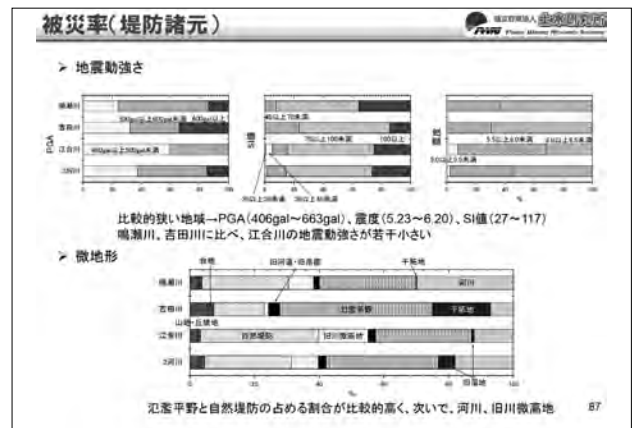
● スライド74



● スライド75



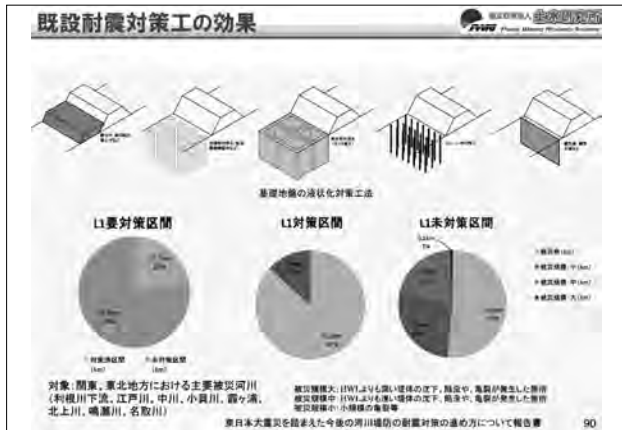
● スライド76



ね。ですからSI値の方が堤防の被害においては相関がいいということで、最大加速度自体は実はあまり相関がよくないということが過去からも分かっています。地盤がいいところは大体、加速度は大きくなりやすいので、なので堤防の被害としてはSI値なんかの方が相関がいいのかなというのが分かっています。

それで、「対策工の効果」ということでどうだったのか。(スライド77) 阪神淡路大震災以降こういう基礎地盤の液状化対策というのをやっていたんですけども、それがどうだったかということで、阪神以降、「L(レベル)1対策」と書いてありますが、阪神以降の照査で要対策と判定された箇所、それで対策した箇所が今は5分の1ぐらいですか、4分の1はないんですが、5分の1ぐらいしか対策は進んでいなかったんですが、その中の対策をしていた箇所と対策が追いついていなかった箇所、アウトなんだけど対策がない箇所、対策した箇所は無被害か、あっても非常に軽微でクラック程度で、レベル1照査でアウトの箇所の半分ぐらいで何かしらの被害が、4分の1ぐらいでは被害があったということで、やっぱり対策を行った箇所では全体の傾向として被害が少ないということで、ある程度は対策の効果があったのかなというように考えております。ただ、問題なのはレベル1で「要対策」と言ったところの半分ぐらいは東日本大震災でも無被害だったということで、耐震性能の照査自体ももうちょっと高度化

● スライド77

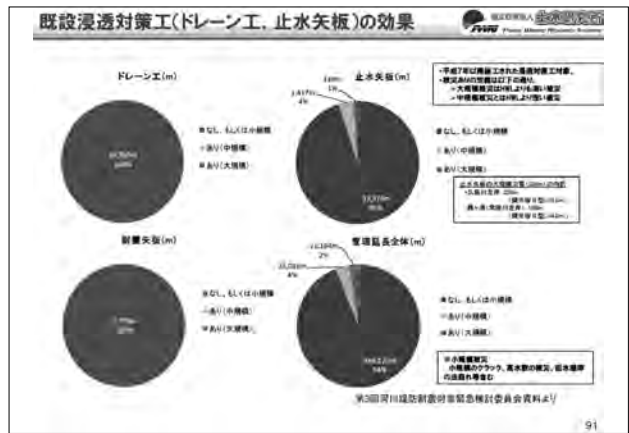


していかないといけないのかなという課題ではあると思います。

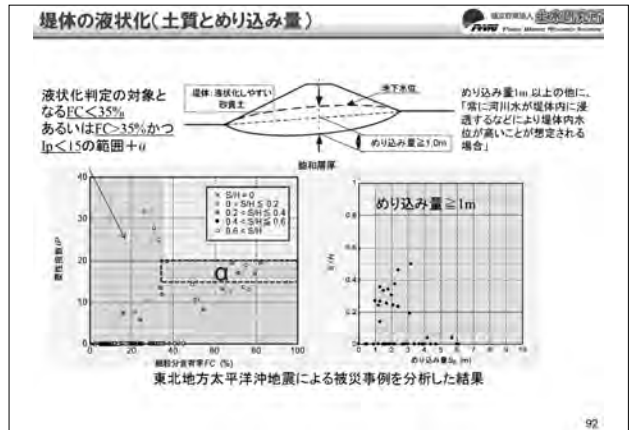
それと、これはその他浸透対策はどうだったかということです。(スライド78) 浸透対策でドレーン工をやったところは実は被害がなかったということで、ドレーンも間接的には耐震には効いているかなということですが、あとは例えば止水矢板なんかもやっているところと被害が止まっているとか、実際に幾つか大被害を受けているところはあるんですが、止水矢板である程度そこを止めることによって効果があったということが分かっています。ですから、逆に耐震矢板のところも当然効いているんですけども、耐震矢板まで行かなくても止水矢板ぐらいでもかなり効いている区間があるということで、耐震矢板の設計ももうちょっと合理化できるんじゃないかというような課題としてはあると思います。

次に、堤体の液状化というのが今回は注目されて

● スライド78



● スライド79





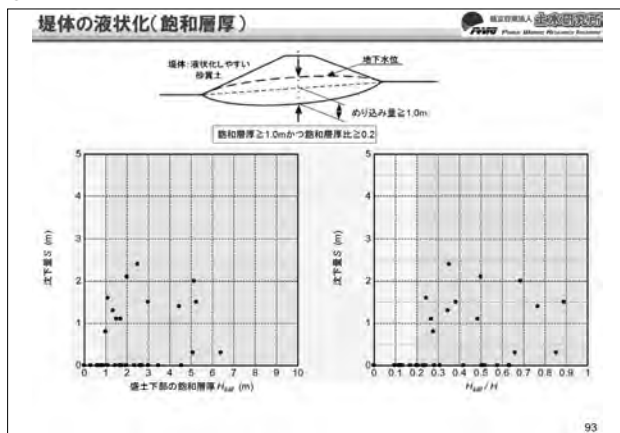
いて、ではどういう堤体材料のところで行われたかというのを今整理しました。(スライド79) これはこれが堤体材料を調べたもので、横軸に細粒分含有率、縦軸に塑性指数というのがあって、このあたりが砂っぽいと思ってください。このあたりに行くと粘土が、細粒分が多くて塑性指数が高いところ、ネチャネチャしている、塑性指数が低いというのはサラサラしている。それで、ここに青く閾値を書いているんですけど、これは実は液状化判定の対象になる土層というのはこういう範囲なんです。細粒分含有率が35%以下、ないしは塑性指数が15以下、これが液状化判定を下さいよという土質なんです。やっぱり大体この辺に、ほとんどがこの辺にプロットされて、液状化判定の対象になるような土において被害が起きているということで、これからも堤体自体が液状化したんだということが分かると思います。

それと、あとは実際にどれぐらいのところに軟弱

地盤上でめり込んでいたかを見ると、やっぱり1m以上めり込んでいた箇所では被害が起きているということが分かっています。(スライド80) それとあとは地震後の調査なんですが、堤体の地下水、堤体の中に水が溜まっていることが液状化の被害に影響したということで、実際にどのぐらいの水が溜まっていたかということ、やっぱり1m以上溜まっていたし、率で言うと堤防高さの約2割ぐらい、2割以上高い位置に、この堤防の厚さの2割より水位が高く、かつ1m以上の厚さがある箇所では被害があったという傾向は分かっています。

それでこういう被害を踏まえて、平成24年2月に耐震性能照査指針の改定を行いました。東日本大震災の後ですね。それで、その中で主なポイントとしては、先ほどから出ている堤防の堤体自体が液状化してしまうというのがひとつのポイントとしてはあります。それからあとは、施設計画上の津波高、耐震性能の照査の基準にする照査外水位というのは、洪水ないしは津波ということによって決まるんですが、その津波高については施設計画上の津波を想定しましょうということが明確にされたということ。あとは、特に海岸付近で、河口付近ですと地殻変動で70cmとかそのぐらい沈下してしまったというか、それをちゃんと考慮すべきだろうということで、堤防沈下高の算出に際してはこれを見ましょうというのが、平成24年2月の改定であったということです。(スライド81)

● スライド80



● スライド81

### 平成24年2月の改定のポイント

- ① 堤体の液状化: 従来から想定されていた基礎地盤の液状化を原因とするものが多数発生した他、これまで地震による堤防の被災として主眼の置かれていなかった堤体の液状化による被災が多数発生
- ② 施設計画上の津波: 中央防災会議において、2つのレベルの津波を想定することが示された。河川津波検討会において、河川管理における施設の諸元等を定める津波を海岸保全施設等の整備を行う上で想定する津波とされた。
- ③ 地殻変動に伴う広域な地盤沈降: 東北地方から関東地方の太平洋沿岸を中心に地殻変動に伴う地盤沈降が観測された。地盤沈降によって、浸水被害が拡大・長期化した地域もある

● スライド82

### 堤体の液状化の照査方法

指針堤防編 4.2 液状化の影響

基礎地盤の砂質土層の液状化...  
堤体の液状化については、堤体及び基礎地盤の土質、堤体の基礎地盤へのめり込み沈下量、堤体内の地下水位を調べることにより、その影響を適切に考慮するものとする。

本来、基礎地盤の液状化も堤体の液状化も同じ液状化なので、同じように扱いたい...  
堤体の液状化が原因とされる大規模な崩壊を、適切に再現できない場合がある

横瀬川 下中ノ目地盤 (ALD: 500μm 塑性指数14.0)  
堤防の基礎地盤の液状化で一時的に使われている解析手法で、のり厚が数方に大きく移動するような現象は再現できない。

当面は堤体と基礎を分けて照査

指針堤防編 4.3 耐震性能の照査

解説  
(1) 基礎地盤の液状化に対する照査  
...  
なお、堤体の液状化と基礎地盤の液状化が複合する場合には、堤体の液状化に対する適切な対策を実施することと併せて、上述の方法により、基礎地盤の液状化に伴う堤防の変位を計測し、外水位を下回らないことを照査すれば良いものとする。

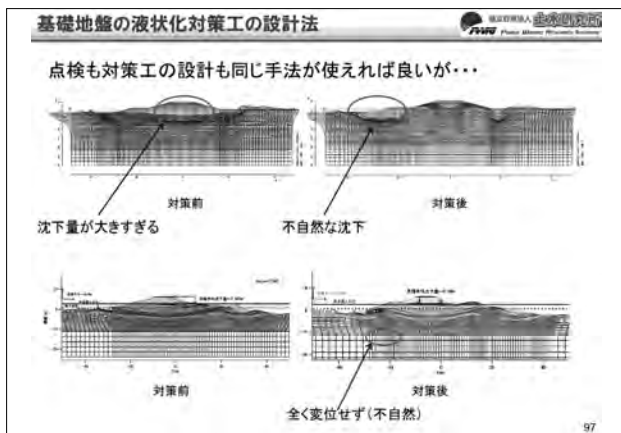
それで堤体の液状化については、先ほどから言うように実際に砂中に水が溜まっているとか、沈下しているとか、そういうところで起きるんですけども、普通の基礎地盤と同様に、変形解析等によって照査するのがいいんですけども、東日本大震災の後にいろいろ計算するとなかなかうまく表現できないということがあって、この改定の際には暫定的に基礎地盤と堤体の液状化というのは別の照査をやるなくしました。(スライド82)

それと、基礎地盤の液状化対策についてですが、対策工についても本当はこういう変形解析で評価するのがいいんですが、これはなかなか実際に静的な解析で、対策前だとこのぐらい沈下したのが、対策を入れるとこんなになるとか、なかなかうまく表現できなかったということがあって、実際に東日本大震災の後、平成24年の改定では対策工については昔のやり方をやってくださいということをやっています。

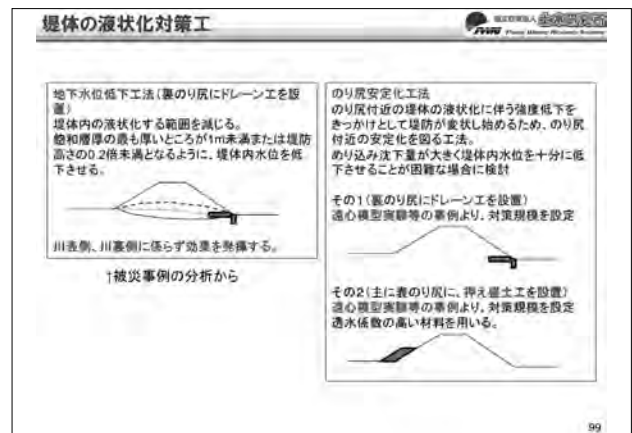
これはなぜ問題かと言うと、実際に対策工をやると、これは実験ですが、ここに固化改良があって、ここが堤防だと思っていただいてもいいと思いますが、ここに固化改良があって、揺ると実際にロッキングしながら振動で進行していく、回転していくと、そういう影響が出てくるんですが、それはなかなか静的照査法では表現できないというところがありますね。対策工に関しては昔の阪神以降に作ったマニュアルで、震度法でやりましょうということで平成24年のものは、当面それでしのごうということをやっています。(スライド83、84)

それと、あとは堤体の液状化対策ということで(スライド85)、先ほどドレーンで効いたというところがあったんですが、水が中に溜まっているということならこの水を抜いてあげればよいということで、特にドレーンを設置するのが対策でしたり、あとは模型実験等をやったんですけども、法尻の押さえ

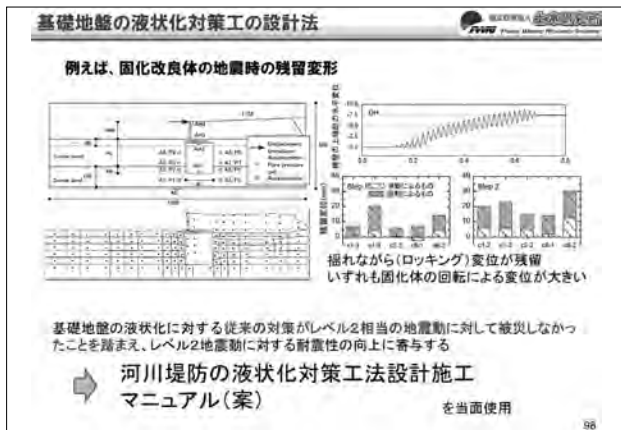
● スライド83



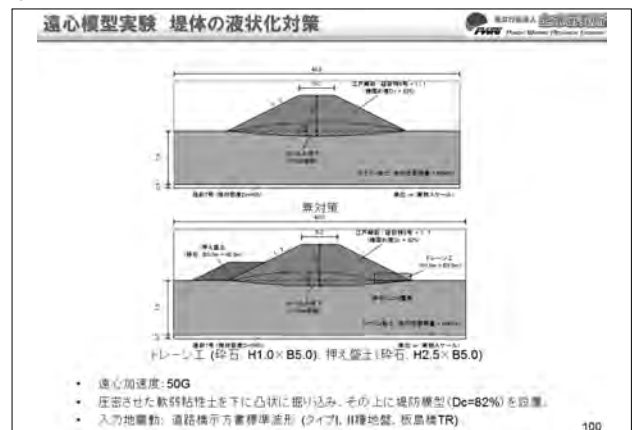
● スライド85



● スライド84



● スライド86





効果があることによって、ドレーンや、川裏で腹付け盛土をすることによって、堤体自体の液状化の対策になるということを実験等で検証しました。

これは実験の例なんですけれども、基礎地盤は粘土の上に堤防を盛って水が溜まっていく。それに対してドレーン、押さえ盛土で対策したら実験でどうなったかということです。(スライド86)これが無対策のケースで、加振前と加振後ということです。(スライド87)これが堤防、下が粘土地です。これが法尻の、こちらにドレーンを、こちらに押さえ盛土をしたケースですね。これはあまり変形していません。(スライド88)

これは横からは分かりづらいんですが、上から見るとすごくわかると思います。これは今の実験後に天端から撮ったものです。(スライド89)上の写真は無対策ですね。実際の被害みたいに縦断方向のクラックがバーッと入って、天端が陥没しているんで

す。下の写真は法尻ドレーンと、碎石の押さえ盛土があります。こちらはクラックも入らないということで、対策工の効果がかなりあるということを実験的に検証しています。

実際にはもうちょっと細かい話なんですけど、スペックを決めてエイヤで対策方針を決めましたというところを、平成24年の2月にやったということです。(スライド90)

ただ、課題としては、「もうちょっと小さくできないのかな」とか、あとは「性能との関係はどうなっているの」というのが実際に表現できていない。これは仕様規定、で行ってしまったので、そこはまだ課題があったということです。

そういうことで、平成24年にかなり無理矢理、東日本大震災対応ということでやったんですけれども、それを解消すべく今、検討している内容について紹介します。(スライド91)

● スライド87

**遠心模型実験 無対策のケース**

- ・ 天端の沈下量 = 1.36m.
- ・ ターゲットの移動状況より、堤体下部の飽和域が大きくせん断変形していることが分かる。
- ・ 天端にクラック多数.

101

● スライド89

**遠心模型実験 天端のクラックの違い**

104

● スライド88

**遠心模型実験 押さえ盛土とドレーン工**

- ・ 天端の沈下量 = 0.50m.
- ・ 押さえ盛土 (左側) は変形を抑制.
- ・ ドレーン工 (右側) に0.5~1.0mの水平変位。  
⇒ 結果として、堤防全体が若干右側に向かって変形.
- ・ 天端のクラックは少ない.

102

● スライド90

**遠心模型実験から設定した対策工の規模**

**A. ドレーン工法 (裏のり)**

- ・ 対策工の堤体内への貫入量を堤防高さの0.6倍
- ・ 対策工の高さは、堤防高さの0.2倍以上

**B. 押さえ盛土工法 (表のりと裏のり)**

- ・ 対策工の幅は堤防高さの1倍以上
- ・ 高さは堤防高さの0.5倍以上とする。
- ・ のり勾配は、堤防の平均的なり面勾配以上とする。

※実際の設計では他に留意事項あり。

課題: もう少し小さくできないか?  
必要な性能に応じた設計ができないか?

100

それで堤体の液状化の評価ということで、変形解析しないで堤体土質と地下水位だけでアウト・セーフを決めるような方法を平成24年2月にやったんですが、これは実際に変形解析をしていくと実際の被害に比べて解析結果で過小評価してしまうんですね、解析結果が小さくて。なかなか変形が出てくれなかったというところなんですけれども、いろいろ、これが課題としてあったというところです。

それで、平成24年改定のときの課題ということで、先ほども言いましたが、対策工の効果がなかなか反映できなかったのが、当面、対策工については昔の阪神以降にやった震度法の対策をやってくださいということでやっていたということ。

それと今は実際に運用上ですので、無対策についてはレベル2地震に対して沈下量で要対策・対策不要というのを判定しているんですけれども、実際に対策工の設計自体がレベル1で安定計算すればいい

と言っていたので、セーフになってしまう場合があるんですね。無対策で、要対策になったんですけど、対策工の設計がレベル1地震動に対して安定計算をすればいいと言っていたので、ここでレベル1で保ってしまうと対策は不要ということになってしまう。「ここは当面、後回しでいいですよ」と当時は言っていたんですが、なかなか対策が進んでくると「ここはどうするんだ」ということで、やっぱり対策工についても無対策と同様に、変形解析で照査する必要があるということで今検討を進めているということでございます。それで、大きな課題としては、堤体液状化と対策工を含めてちゃんと変形解析で照査しましょうというところです。(スライド92、93、94)

それで堤体の液状化について、これは変形解析で改善をしました。検討前ですとなかなか合っていなかったのを合うようにしました。(スライド95)こ

● スライド91

河川堤防の耐震基準の経緯まとめ

経緯	技術	案 由
河川堤防耐震基準マニュアル-概説 平成24年3月	河川堤防耐震基準マニュアル-概説 平成24年3月	河川堤防耐震基準マニュアル-概説 平成24年3月
H23-14 土木構造物の耐震設計ガイドライン(案) (注)土木学会 平成13年9月	土木構造物における設計の基本 国土交通省 平成14年10月	12対策の基本
H24-14 河川構造物の耐震性能評価(案) 概説 平成19年3月	河川構造物の耐震性能評価(案) 概説 平成19年3月	耐震設計の観点を変えた 対策、本対策
H23.14 震害実態調査 河川堤防に事象の被害発生	河川堤防に事象の被害発生	対策済み区間に大規模な変形なし
H24-15 河川構造物の耐震性能評価(案) 【改定】 レベル2地震動に対する河川堤防の 耐震設計マニュアル	基礎地震 河川堤防の耐震設計マニュアル 【改定】 レベル2地震動に対する河川堤防の 耐震設計マニュアル	耐震設計の実施

● スライド93

2. H24指針改定時の課題(続き)

□液状化対策工の効果の評価手法

レベル2地震動に対する液状化対策工の効果適切に評価できる手法がない。例えば、そもそも無対策時の沈下量が大きすぎて対策工の評価ができない場合や対策工の種類によって適切に評価できない場合がある。

現状においては、基礎地盤の液状化対策工は、中規模地震に対して、安定を確保するよう設計(レベル2地震動に対する沈下量は求めさせない)。堤体の液状化対策工は、模型実験の結果から大きさを決定する方法等。

関連:対策マニュアル(暫定版)p.1,11

● スライド92

2. H24指針改定時の課題

□堤体の液状化の評価手法

東日本大震災において、堤体の液状化による事例が多数見られたが、堤体の液状化による堤防の沈下を適切に評価できる手法がない。現在は、基礎地盤の液状化については「地盤変形解析」を用い、堤体の液状化については「堤体の飽和層厚による照査」を行っているが、本来、一体的に考慮することが望ましい。

関連:指針II,堤防編 p.5

東日本大震災による被災箇所を対象にALIDを用いて解析した結果→

沈下量を過小評価する傾向

● スライド94

2. H24指針改定時等の課題(続き)

□液状化対策工の効果の評価手法(続き)

点 検 (12地震動に対して、地震後の堤防高さを求め、照査外水位と比較)

対策工の設計:中規模地震動に対して、対策工等の安定を確保

点 検	要対策	対策不要
レベル2	対策工の設計	
変形		
対策	対策実施	設計不能
レベル1		対策不要
安定		

運用上の課題:

- ・対策の効果が分からない
- ・点検で要対策でも、対策工の設計ができない区間が生じる

れもかなり無理矢理なところもあるんですが、結局これは地下水位の設定次第でどうにでもなってしまう。例えば地下水位を50cm上げるだけで大体合ってしまうということです。地下水位というのはボーリングの構内の水位というのは、圧力が大気圧のところまで測っているんですけど、実際にその上にサクションで堤体の中で水を吸い上げていて、飽和度と言うともうちょっと上にあるんですね。それで液状化に対しては飽和度の高いところから効いてくるので、その分50cm上げてでもそんなにおかしくはないかなど。実は50cm、堤体の液状化に対しては照査水位よりも上げることによって大体合ってしまうということです。

逆に言うと、これは実は堤体の液状化の変形解析というのは、地下水位の設定次第で結果がドラステックに変わってしまうというところがあって、これは事実だと思いますけれども、実験的にも実際に

そうでした、堤体内の水位がちょっと違うだけでやっぱり結果が違うんですね。計算上もそうです。ですから、これはやっぱり調査法と合わせて、水が高い箇所をどう見つけるかというのが将来的には課題になるかなと考えております。(スライド96)

それとあとは基礎地盤の液状化に対して、これは東日本大震災の事例を解析でやったものと実測でやったものと比べると、実は今までの耐震性の照査指針のやり方というのはかなり安全側だったということが分かっています。こちらは実測で、こちらが計算です。場所によっては倍どころじゃなく、かなり安全側に評価していたということがあって、いろいろ見直しをしています。(スライド97)

それで基礎地盤の液状化に対して、特にいろいろ事例を調べると、どうも深いところの液状化というのがあまり変形に寄与していないというのが、いろいろ東日本大震災の事例を分析していくと分かっ

● スライド95

**3. 堤体液状化に対する照査手法の高度化**

**□堤体の液状化(無対策)**

計算において堤体の液状化で大きく変形させるためには、のり尻が液状化することが必要。模型実験においても、同様の傾向がある。  
 大変形した箇所の孔内水位は必ずしもりのり尻より高い位置にない。  
 地下水位よりも上にもサクション等により飽和度の高い領域がある。このような領域は、液状化しないまでも、飽和度の低い天端付近の土のように液状化による沈下を抑える領域とは考えにくいことから、地下水位を一律に50cm上昇させて解析を実施。  
 その結果、ほぼ実測に近い沈下量が得られた。

● スライド97

**3. 基礎地盤の液状化に対する照査手法の高度化**

**□基礎地盤の液状化(無対策)**

現状のALIDでは過大な沈下量

● スライド96

**堤体の液状化 地下水位の影響**

調査法の検討とあわせて、水位の適切な設定が重要

- ボーリング確認水位  
→法尻以下に地下水位  
>天端沈下量:0.19m
- 水位一律20cm上昇  
→法尻より若干下に地下水位  
>天端沈下量:0.56m
- 水位一律50cm上昇  
→法尻より若干上に地下水位  
>天端沈下量:1.21m
- 水位一律100cm上昇  
→法尻より大幅上に地下水位  
>天端沈下量:2.29m

急増 = 敏感

● スライド98

**3. 基礎地盤の液状化に対する照査手法の高度化**

**□基礎地盤の液状化(無対策)**

- 細粒分による液状化強度の補正
- 拘束圧によるせん断剛性の補正

微小抵抗領域のせん断剛性

平均主応力  $\sigma_m$  (kN/m<sup>2</sup>)

$G_{1,original}$

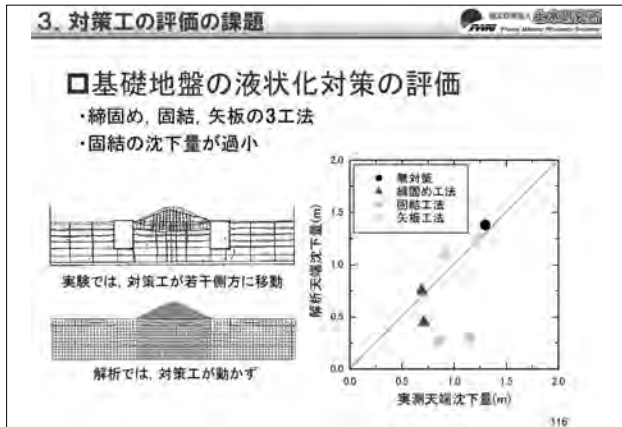
$G_{1,original}(\sigma_m/\sigma_{m0})^2$

$\sigma_m = 50$

てきています。ですので、液状化の程度に応じて剛性を落とすということを今静的照査法でやっているんですけども、その剛性の低下率というのをこの平均の上載圧に応じて、深いところほど剛性を低下させないという効果を入れています。これは事例とか実験等のキャリブレーションで、半分経験則なんですけど、こういったものを与えています。それによって大体1：1の割合にざっと持ってくるというようになっているということで、多少は改善しています。(スライド98)

それとあとは対策工については、これも先ほどの拘束圧の効果等も入れて、これはなかなか合わないというところがあったんですけど、これも特にこの間モデル化の部分を見直して、大体合うようにはなってきました。締め固め、固化、矢板というのが代表的にあるんですけど、矢板と締め固めについては大体うまく整理がついたんですけど、やはり固化ですね。地盤改良を固いものでやった場合に、先ほども言ったように、実はロッキング振動とかそういうのが影響してきてしまうんですけども、その効果が未だに解決できていないということです。ただ、これは、実際の耐震をやっているものよりもかなり狭めたケースなんですけど、実際には震度法と併用してある程度の幅を持たせた上で使うというように考えていて、幅の縛りというか、ある程度、震度法は残さざるを得ないかなと思っています。(スライド99~101) それでちょっと時間もあまりなくなってきましたし

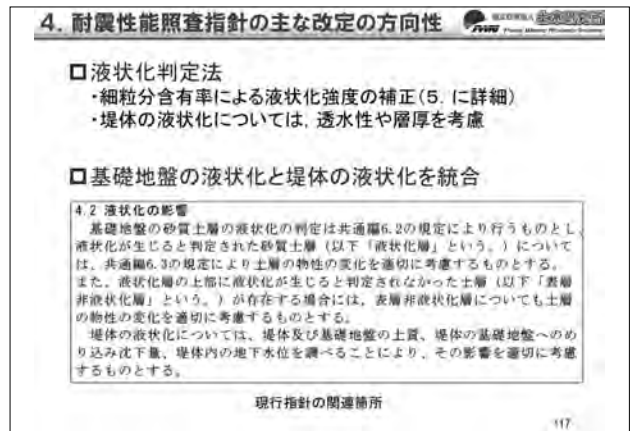
● スライド99



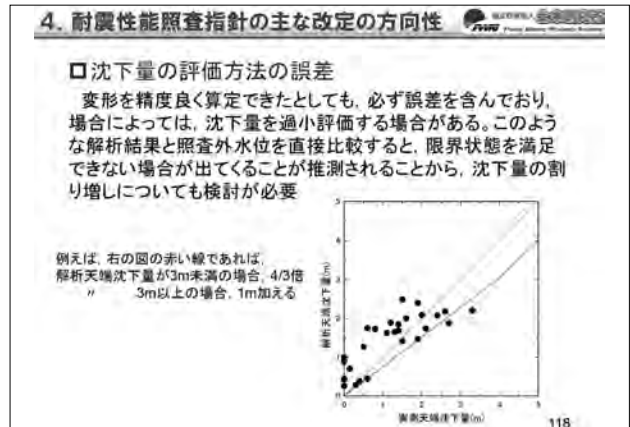
まったんですけど最後に、液状化判定法自体の見直しというのをやっております。特に液状化判定法は道路共通仕様書をそのまま持ってきているんですけど、特に東日本大震災の後にいろいろ調べると、今の液状化判定法自体はかなり安全側だったということが分かっています。それで、そういうところも含めて液状化判定法自体を見直しています。改定の方向性ということで、ちょっと話が重複してしまうんですけど。

それと、液状化判定法を見直すに当たって特に、今の液状化判定法自体は阪神淡路大震災の後に、阪神の事例ですとか、その後かなり地盤調査等やって提案されているんですけど、特に細粒分が多いところはあまり検証されないで出ているんですね。特に今回の東日本大震災を受けて、やっぱり細粒分のあるところはあまり液状化していないという傾向があって、それを含めて過去の阪神以降のデータ、特

● スライド100



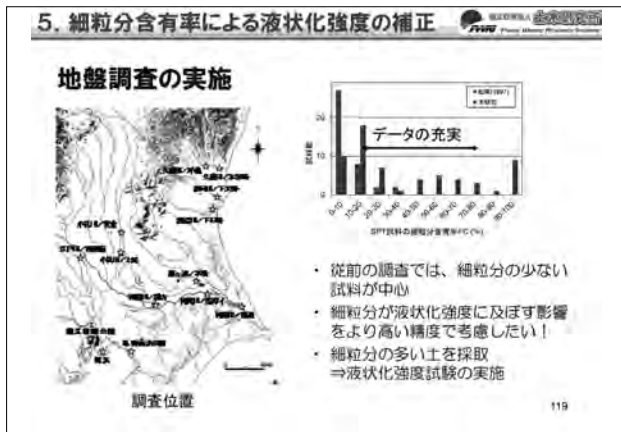
● スライド101



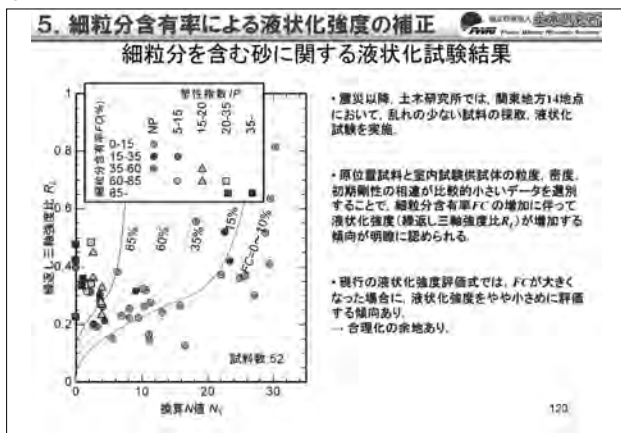
に細粒分の多いところのデータを全国から集めて、関東地方が多いんですが、こういうところで地盤調査とか、実際に液状化はどうかと対比等を行って見直しを行っております。(スライド102、103)

細かい話はちょっと飛ばしますが、基本的にはこういう液状化強度曲線というのがあって、細粒分が多いほど同じn値に対して強度が上がるという効果

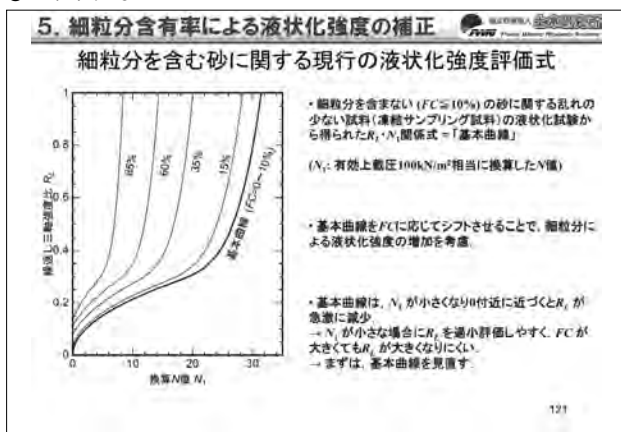
● スライド102



● スライド103



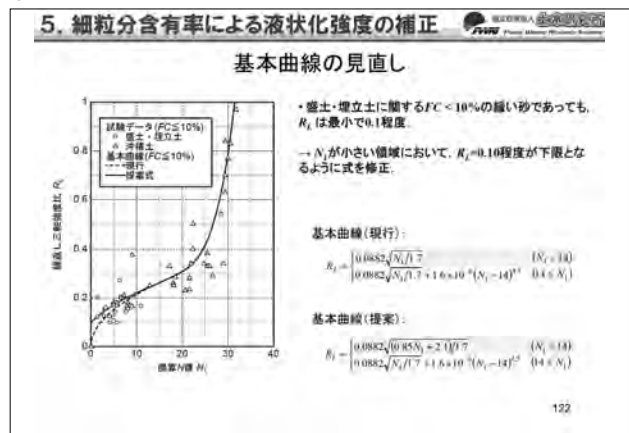
● スライド104



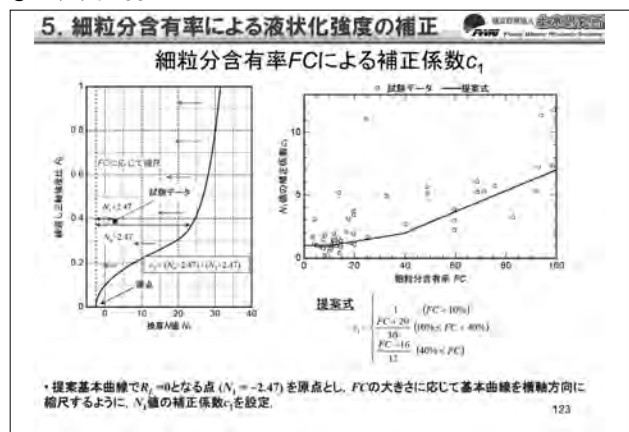
を見ているんですけど、この上がり具合をちょっと見直しをしました。これが細粒分が増えると、補正係数という強度を上シフトしていく係数があるんですが、これを今回このデータを、阪神淡路大震災以降あまりこの辺のデータのないところでもかなり安全側に引いていたんですけど、そこをかなりグッと押し上げる形で見直しました。(スライド104~106)

これが今の判定法です。こちらは今、提案しようとしているものでして、このプロットが今回の東日本大震災以降のデータで調べたものなんですが、やっぱり細粒分の多いところ、例えば85なんかはもっとこっちだったりあるので、かなり安全側だったということがあって、これを全体的に細粒分の多いほど右にシフトした、強度を強くしていったということです。今これを提案していて、次の改定にはこういうものも反映させたいというように考えています。(スライド107)

● スライド105



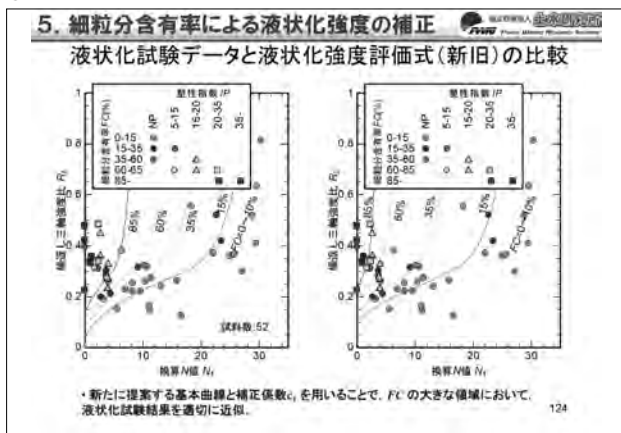
● スライド106



そういうことで、ちょっと今年度ぐらいには何とか改定したいなということで、我々もいろいろ研究を進めているんですけども、課題として、平成24年の東日本大震災直後にかなり緊急的に改定したものだ、やはり堤体の液状化に対する沈下量を求められなかったとか、対策工の沈下量が求められなかった、ということに対して、液状化判定を改良するということと、堤体の液状化を変形解析で求められるように全部レベル2に対して変形照査でやれるようにということで、今検討をしていますということです。

残りの課題というところでは、やっぱりまだ堤体液状化の対策工に対する沈下量を求められるかというのは、たぶんうまく行くかなと思っているんですが、フィックスはまだなかなかできないということ。それと、さっきも言いましたけれども、基礎地盤の液状化に対する固化改良がなかなか合わなくて、そ

● スライド107



● スライド108

**耐震性能照査の改定の方向性と課題**

【H24改定時の主な技術的な課題と指針等の課題】

- ・堤体の液状化による沈下量を評価できる方法がない
- ・基礎地盤や堤体の液状化に対する対策工の沈下量低減効果を評価できる方法がない
- 堤体と基礎地盤の照査方法は別の方法を採用
- 照査と対策工の設計で、外力や計算方法の整合が取れていない

【耐震性能照査指針の改定の方向性】

- ・液状化判定法の改良(細粒含有率による補正)
- ・基礎地盤と堤体の液状化による評価を同じ方法
- ・対策工の設計では、L2外力に対して変形量を照査させる

【課題】

- ・堤体の液状化に対する対策工の沈下量低減効果の評価
- ・基礎地盤の液状化に対する対策工(固結工)の沈下量低減効果の評価

こは先ほどもちょっと言いましたが、ある程度は震度法も残さざるを得ないかなと考えています。こういったことが課題として残ってはいるんですが、何とか解決して今年度ぐらいには指針等の改定に反映したいなというように考えています。(スライド108)

ちょっとすみません、時間をオーバーしてしまいました。雑多な話になってしまいましたが、以上で私の講演を終わらせていただきます。ありがとうございました。(拍手)

<質疑応答>

質問者1 堤体の液状化についてですが、堤体の法面が寝ている場合、要は普通の実験とかでも使っている2割から5割の堤防、というのは普通に考えれば地震に対して強いはずなんですけど、堤体の液状化のところでありました埋込み量というレンズの厚さ自体は変わらないかも知れませんが、飽和層のレンズ状のものが薄平べったく存在するような形になると思いますが、その場合には法面を緩くしてもあまり効かないような気がするんですが、その辺は研究がありますか。

佐々木 ありがとうございます。今、平成24年の2月に緊急的に改定したものだ、法面の方が入っていないんだよね。土質と埋込み沈下量とか、堤体内の水位だけでアウトとセーフを決めちゃって。でするのでそこはやっぱり同じく変形解析を入れていきたいと思っています。それで変形解析を入れていけば、緩くした効果は出てくるはずだと思いますけれども。

それと、特に利根川ぐらいになるとですね、堤防が高くなってくると、先ほど変形解析の方では上載圧が高いほど変形しにくくなる効果というのがあって、これは実際にそうなんです。高い堤防というのは、実際に法面はすべっても天端はほとんど動いていないというのが、特に利根川なんかは多くてですね。そういう効果は入れてきているので、ちょっとそこは解消していくのかなというように思っています。確かにおっしゃるとおり、平成24年2月の改

定ではそういうところも含めて全部アウトになってしまっていたので、それはちょっと緊急的だったということをご理解いただければと思います。そこは解消されるはずなので、そこは期待してもらってもいいかなと考えております。

質問者1 分かりました。期待させていただきます。

安原 スライド26、浸透による変状の進行のメカニズムのご説明がございまして、一般的な浸透作用の中で、細粒分が抜け出すことによって劣化するという捉え方があると思いますけれども、この実験結果ではそれほど細粒分は劣化するというのは見られなかったと。そのようなお話を初めてお聞きしまして勉強になったんですが。

そこで、「むしろ」というところに、透水係数が低下してそれが破壊につながっているというご説明なんですが、このあたりでちょっと、どうして透水係数が下がっていくような現象になるのかとか、そのあたりを少し詳しく教えていただけると結構だと思いますが、いかがでしょうか。

佐々木 これは「推測」と書いてある（笑）。やっぱりちょっと何か不飽和の影響とかもあるのかなと思います。何か崩壊した箇所の水位がどんどん上がって行ってしまふんですね。そこが、なんでかな、というのが。おっしゃるとおりで、ここはすみません、推測を書き過ぎたかなと今思いました（笑）。ちょっとここは分からないところで、ここはもう少し細かくやっていかなければいけないんですが。

ただ、やっぱり現象を見ていると、同じ水位を保っているわけではなくて、水位がどんどん上がっていくのが進行にも影響しているんですね。だから土砂の吸い出しのスピードと言うよりは、水位の上昇に従って沈降していく影響の方が大きいケースが多くて、必ずしもそれだけではないと思いますが、この現象に関してはそうです。当然、パイピング的なのはまた別現象ですから、そこはちょっと切り離れた方がいいかなということで。今回のこの実験の場合ですと、水位が徐々に上昇していく影響がかなり支配的だったケースが多いということで、その辺

をもう少し検証したいと思います。

質問者2 最後の方でご紹介いただいたドレーンと止水矢板と耐震矢板、いろいろな対策が効果があるというある種の調査、統計的な整理をされているんですが、今後の方向として例えばドレーンだけでもあるレベルの対策としては意味があるとか、何か今4つぐらいの種類があったので、その体系的な整理の方向というのは考えておられるのかなというのが1点。

それからスライド94に要対策なんだけど、「設計不能」というのがあったんですが、あれはちょっと細かい話で、ちょっとイメージが湧かなかったのでお願いできたらと思います。

佐々木 たまたまなのかもしれませんが、ドレーン工が東北で多かったんです。例えば堤体液状化に関しては、実験的にもそうなんですが、やっぱり法尻を止めることで、排水溝は地震時の過剰間隙水圧は排水には行かないと思いますが、そこをドレーン工を置いていることで法尻を押さえることで変形をかなり止めていると思います。例えば、これは堤防ではないんですが、例えば高速道路の高盛土なんかもそこにドレーンというか、道路の場合にはもっと大きいんですが、その排水がダーッと、法尻を強化することで止まるというのがあって、その影響はあるかなと。いずれにしても今回の改定では形態も、基礎地盤も全部変形解析で評価するように、そこを一体的に評価できるように持っていきたいと思っていますので、そこはなるべく入れていきたいなと思っています。

それで止水矢板と耐震矢板については、耐震矢板の方がやっぱり地震を考えると慣性力とか地震時土圧とかを考えてかなりスペックの高いのが入っています。ただ、やっぱり止水矢板でも止まっているいいんですね。それで何が違うかということ、その矢板のスペックの違いと、あとは根入れ長の違いがあります。ですので、もう少し耐震矢板についても根入れの合理化、あとはスペック、地震時土圧まで本当に要るのかというのは考えていけるかなという



こと。

あとは、明らかに止水矢板で効いていないというのは、やっぱり液状化層の下まで全然入っていないものなんですね。それはやっぱり側方流動と一緒に持っていかれているというのがあるので、ここはやっぱりまだ合理化のやり方があるかなと思って。特に耐震矢板はレベル1スペックでもかなりスペックが大きくなるので、そこは地震時土圧の考え方には合理化の余地があるかなということで、今はそこも含めて検討しているんです。

あとは、平成24年に緊急的に改定したので、無対策の評価についてはレベル2地震に対して変形解析によって照査外水位を下回る、上回るという照査をさせているので、アウトが何箇所か出てきます。それで対策工については変形解析がなかなかうまくいかない部分があったので、いわゆる阪神の後にやったレベル1地震動に対して震度法で設計すればもうレベル2に対してもOKとみなしますということをしたんです。そうすると、結局レベル1地震で液状化しない場合は、そもそも対策が要らなくなってしまうんです。こっち側の評価ですと。ただ、変形解析だと、こっちだとレベル2地震を考えているので、やっぱりアウトが出てくるんですね。それでレベル1で液状化しないけれど、レベル2で液状化して沈下量でアウトになる箇所というのが、実は対策工の設計ができない箇所であったということで、そこはレベル1で円弧すべりでセーフだったから優先順位的には低いでしょうという整理を、この当時は分かっていたんですが、それはそういう整理をしていたんですが、なかなかレベル1で要対策になっているのに対策をしなくてもいいのかという話も徐々に出てきているので、そこも含めて対策工もちゃんとレベル2に対して、特に沈下量、対策効果を表現できるように今回の改定でもちゃんと持っていきたいなというように思っています。

ちょっと今、現場はかなり混乱していて、かなり対症的に、昔やったので大丈夫だから昔のやり方をそのまま踏襲しているということで、ちょっと

現場的にも若干混乱を招いているところではあります。そこはちゃんとしていきたいなというように考えております。

**藤田** 僕が質問してもいいのかな。僕は企画者なので、ほかにいなければ1問だけ質問させてもらってもいいですか。すみません。

スライド26と27、あるいはスライド28の比較で、スライド26までは進行的に崩れる話でもっぱら堤体の絵で説明されていて、それから画像も、あまり基盤の話じゃなかったんですけど、それがスライド27と28になると浸透とか動水勾配の話も、基盤の話も一体で説明されていたので、ちょっとその整合がよく分からなくなってしまったんですけど。要は前半にあったご説明は、局所的だけど法尻近傍の基盤と一体的な泥濘化、進行性破壊のスタートというそういうようなことなのか、ちょっとその辺のところを補足いただきたいと思います。

**佐々木** はい、すみません。説明を簡略化するためにパワーポイントを相当抜いたので、途中で確かに通っていないんですけど。

現象としては両方入っていたり、あとは基盤の透水性が高いと、実は水位が上がりやすくなるということで、堤体にも悪影響するというのがあります。下が粘性土よりも砂の方が水位が上がりやすくなっていて。たまたまこのケースがちょっと、下の透水層のケースを持ってきてしまっていたのでこうなっていますが、実際にこれは下が粘性土で、下が透水しないケースもやっていて、それは同じで。ただ、やっぱり下が透水の方が堤体自体にとっても厳しくなるというのがあるんですね。ちょっとここは出した例がまずかったというところで、実際には両方をやっています。

**藤田** じゃあ、これは逆に言うと今の図で、下がまず非常に透水性が低かったとすると、流速のベクトルは出てくるんでしょうけど、実質上は破壊を作用するのは堤体の法尻欠損であって、そのところがぐっと局所的に増えると、そういう風になると。

**佐々木** はい、そっちが上がりまして、そういうよ



うになります。

**藤田** あとは関連で、非常に計算で1 cmとか、2 mmとか、すごいローカルな話されていたんですけども、これはある種形状から見たら特異点みたいな感じだと思うんですね。こういう非常に鋭角に曲がる特異点的な現象と、実際の堤防はこんなにかつちりとはなっていないので、実現象と今の特異点的な解釈が合っているのかなというのが気になったんですけど、その辺はどんなものでしょうか。

**佐々木** まあ、多少は計算上のトリックはあると思っています。ただ、実際ここは幹川のようになっていて、実際の現場では水の出るところなんです。ただ、その安定性というのは、私はちょっと斜面もやっているんですが、斜面なんかもやっぱりそこなんですよね。実際に実現象としてもここは特異点であって、やっぱりここに達してしまうとここが泥濘化するというのは本当の現象としてもある。ここは斜面とか、他の分野でもある。

**藤田** そうすると、それがもしすぐ治まる特異性だったらいいんだけど、それがこの後引き続き進行性破壊の初発になると、特異的かもしれないけど実は今まで以上にこの部分の処理をやるのが重要となってくる可能性があるという示唆というか。

**佐々木** そうすると、やっぱりちょっとしたドレーンは標準スペックにした方がいいんじゃないのかなという示唆にもなってくるところで、例えば道路の盛土なんかだと、ここはもうドレーンが前提になっているんですね。でも堤防の場合にはなかなか全部やるというのは難しいですからね。実際に全部起きているかという、そんなことはない。ただ、本当に均質なものであれば、ここが弱点になるということが計算上もやっぱりそうなんだなと。理想と現実の話で、理想的にはここが弱点になるということです。

**質問者4** 昔、常陸の方にいたので、今の法尻の件なんですけども、先ほど生き残っていた三反田の地区って、あそこはあまり土質がよろしくなくて、完成した後に法尻が立てた水でけっこう壊れやすかつ

たんです。それでそこに、私は別のところだったんですが、その検査なり堤防巡視なりで行ったときに、どうすればいいのかということ聞かれました、私の方から、法尻に碎石なり何なりをもうちょっと盛ったらいんじゃないかなろうか、と言った場所でもあるんです。そういうことで、ただの事例紹介でございます。そういうこともあったということだけはお伝えしておきます。

**佐々木** そういうのは貴重な話ですね。情報ありがとうございます。ちょっと我々でも調べてみたいと思います。

**安原** 弱点の箇所を見つけるという話は前回の第1回セミナーでもそのようなお話がございまして、今後の点検の営繕をしていく際に非常に重要ではないかと、このように考えております。

ただ、その際に、今日のお話ですといろいろと物理探査等を使ってある程度絞り込めるということか、または照査をして絞り込めるということかもしれないんですけど、恐らくその辺の設計だとかそういったものを背景としたものは、どちらかと言うと計画値というかそういうもので満たしているか、満たしていないかということだと思いますが、維持管理というのはたぶん今まで整備してきたものを維持するというようになってくるので、その絞り込みの閾値というか、そういうものが少しランクがずれるというか、そこに地盤になってくると人工構造物でないという世界がありまして、どこまでを管理者として、維持管理としてやるのか、そういう境界の引き方というのは非常に重要になってくるんじゃないかと、このように思っております。

前回にもちょっとそのようなお話をさせていただいたんですが、そのあたりをどこまでを重点箇所として絞り込んで維持管理として堤防を見ていくべきかというようなことについて、何かお考えとかがありましたら教えていただきたいと思います。

**佐々木** 難しいと思うんですけど、我々はどちらかと言うと基準を作る方にかかわっていることが多いんですが、そうするとやっぱり何か閾値を決めなけ

ればいけないんですけど、将来的にはそれは、本当はアウト・セーフの0・1の世界ではないんですよ。それで当然、地盤から来たら、確実に決まらない。当然リスクがあって、リスクが高い・低いひとつの目安でしかないのは間違いなくて。だから、将来的にはそういったところのばらつきとかも含めて、そこはリスクの確率をどのぐらいまでにしていくのかというのは、それはまた整備水準の話になってくるので、今はそこまで行けてないんですけど。そういうところのリスクなりの確率論になってしまうのかなと。ただ、それができると言われると、ウーンというところもあって。

なので、今はどちらかと言うと、基準を決めてはいるんですが、ただやっぱりあくまでも相対的ですよ。堤防の場合には。延長が長いですし、1つの弱点があるので、1箇所だけ強くしてもしょうがないので。では相対的に弱いところをどうやって上げていって、全体として上げていくかというところになってくるので、将来的にはリスクの高いところから手当てをしていきますし、どのぐらいのリスクを目指しますという、それは整備水準の話でしょう。たぶん行政っていうのも入ってしまうんですけどね。将来はそうだけど、今すぐにそれをやれと言ってもたぶん無理なので。やっぱりそうするとかなり泥臭い話になってくると、やっぱり過去の被災事例からこのパターンはまずいので、それに似たところをまず見つけましょうとか、そういうやり方になってきて。

それで今、着目しているのは、例えば矢部川とかの事例を見ると、やっぱり被覆土層でパイピングでやられるというのはやばいので、その被覆土層の薄いところだけをまず見つけましょうとか、かなり泥臭い話に落ちてしまうんですけど、そこはちょっと管理者さんと相談しながらやるのかなと思います。やっぱり、安全性の話というのはアウト・セーフの話ではない。地震も今はアウト・セーフと言っていますけど、じゃあ皆が「そんなリスクは許容できない」と言ったら、もう「ピター文動かすな」が最終

目標ではあると思うんです。そこは何か安全性の水準の問題というか、ちょっとそこも絡んでしまっている。それは藤田さんあたりに言ってもらった方がいいのかなと思うんですけど（笑）。

藤田 結局、簡単に今の議論を強烈に単純化して。

例えばスライド47のように物理探査でもいいし、とにかく地道にたくさん穴掘って厚さを調べてもいいし、これぐらい分かるとものが見えるわけですね。そうすると佐々木さんとしては2つの方法がある。1つは、詳細点検ができる程度に1kピッチしか分からないピッチでボーリングを取る。では次はその間隔を半分にしよう。そういったことにお金を投ずる割合と、例えば100年かかるかもしれないけど、やるなら次はこれぐらいの情報を得る箇所を増やすのと、どっちがいいんでしょうか。あるいは、そのバランスはいかにあるべきか。

佐々木 難しいですね。

藤田 みたいなことが、ちょっと今のは極端な問いなんですけど、次のステップを考えると。だから我々はどのレベルで、何を分からなければいけないかということによって、だいたい取るべき方向とか、今お話のようにどっちかに絞るということではないけど、投ずべき労力のバランスみたいなものが変わってくるのかなと思ったので、佐々木さんとしてはどういう方向性をお考えになっているのかなと、ちょっと質問したいんです。

佐々木 そこはちょっと、私は地盤屋さんなので、地盤的にはやっぱり少なくともこれぐらい物理探査で行けるなら、「何かやって変なところは見ついたら？」という気がしつつ、やっぱり堤防は長いし、幾ら物理探査をやっても本当にちょっとした弱点でアウトになる。先ほどの矢部川ではないんですけど、数十mが弱点になるので、調査して事前対策だけで全てカバーできるとはやっぱり思っていないで、少なくとも何らかの変状があったところは必ず強化・復旧する。今はそうなっているはずなんですけど、それとの両輪でちょっとずつ整備水準を上げていくのかなと。

藤田 たぶん今までの取り組みは、そういうある種の、格好よく言うと戦略性みたいなものをそれぞれ何かやっていたと思いますが、どういう作戦の意図があるかということをもうちょっと明示的に共有化できないかとか、その共有化するときにこういう地道な技術とリンクさせた形でできないかとか、何かその辺でもうちょっと分かりやすくないかなとか、そういうことを議論していくのかなと思ったものですから質問いたしました。

佐々木 そうですね。そういうところは技術の側と政策的な話との絡みでしょうし、何が最適か、やっぱり限られたお金と労力で一番効率的なものを探るといのが一番ですから、調査を上げていくのがいいのか。もしかしたらもう全部事後対応が一番正解なのかもしれないです。分からないですよ、極論を言っていますよここは。だから、それは国総研の仕事なのかもしれませんね（笑）。そういうところに我々に対して、あとは民間の方々ももっといい手法があればもっと効率的にできますよというご提案とかあったら、そこは政策判断の中にまた反映できたりということ。いずれにしてもある1つの機関だけでやっていく話ではないので、我々も含めて民間の方々のアイデアも当然あるでしょうし、いろいろ提案していけたらいい方向に。限られた予算の中で効果を最大に上げるものを探るといのがたぶん、全体としてはそこは一致していると思いますので。それが何かというのをやっていければいいかなと思います。

質問者5 スライド57について、私は今、筑波について非常に関心があるんですが、今の話にも延長するかもしれませんが、地震の強さが違ったかもしれな

いけど、例えば鬼怒川あたりはほとんど赤○がついていなくて、小貝川はあったりして、利根川の中流以降はこれは堤防が強いのかもしれないけど、強化堤を作っているのがほとんどなくて、下流が赤がたくさんある。これは地震のせい、何か特別な違いがあるのか、いかがでしょうか。

佐々木 揺れのせいはあると思います。それで、太平洋側に近い方が大きいので、地盤的には確かに、特に利根川のこのあたりずっと、もう湿地とか、もともと湿地だったり、このあたり、ここも軟弱地盤でずっと来ている。小貝川は旧河道がやたらとあって、もともと蛇行していたところをショートカットして埋めたりして、そういうところがやられていますね。だから、地盤条件もありますし、揺れもあって、この揺れを重ねるとこの辺がどのぐらいだったか、私もちょっと覚えていないんですが。たぶんこっちの方が小さかったかなと思っています。これは揺れの大きさと、当然、地盤条件の両方が影響します。

質問者6 鬼怒川と利根川の中流部というのは、江戸時代はかなり開削して、利根川本川は江戸川の方に流れたものを開削して小貝川と合流させて。それで鬼怒川はもう少し上流側に付け替えてやっていますので、地盤的にはかなり、昔からの沖積層よりも割と固い地形のところを掘削した河道になっていますから、利根川下流の部分とは少し川のできが違っていますので、たぶん地震動だけではないと思います。

佐々木 そうですか、どうもありがとうございます。その辺はもう少し勉強しておきます。ありがとうございました。

(了)

平成27年度  
第3回 河川研究セミナー

河道の維持管理

服部 敦氏（国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室長）

開催日：平成27年7月31日（金）

場 所：AP東京八重洲通り



## 河道の維持管理

国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室長  
服部 敦

服部 皆さん、こんにちは。ただいまご紹介に与りました国総研の服部です。よろしくお願ひします。

今日のお話はいただいた通り「河道の維持管理」なんですけれども、難しい話ですね。堤防構造物に比べてまだまだ話がちゃんとまとまっていないというか、やってはいるんですが、いざこういう場で1時間立って話せと言われると、どういうことをお話をすればいいのか考え込んでしまうというようなテーマだと思っています。ですから、また後でお示しをしますが、今日はいつものセミナーとちょっと違う形になると思います。私がこう考えていて、ここで悩んでいるというようなことを皆さんにご紹介して、そこで終わってしまうような形になるかもしれませんが、何らかの形で皆さんの考える足になればということで、一生懸命にまとめて来たつもりでございますので、ちょっと長いですが1時間半ぐらいお付き合い願えたらと思います。

最初いきなり雑談から入ります。先般、台風11号だったかな、直轄河川的那賀川でけっこう出水がありまして、現地調査に行ってきました。それで、これは堤防の左岸側を撮ったところで、これはいわゆる痕跡なんですけど、私、法面に流木が乗っかっている、というのを初めて見ました。(スライド1)

余裕高とかを考えると、「いやあ、いろいろなことで水位が変動するんだ」といった中で、どなたかがおっしゃっていたんですが、「流木みたいなものが止まってそこに水が来ると、そこだけ堰上げじゃないか」というようなことがあったんですが、そんなの見たことないなと思っていたんですけども、実際に行ってみたらあった、というので、驚いて、というか、これはあるんだな、と思って撮ってきた

わけです。

その後、またちょっと違う出水があって小さい川に行ってきたんですが、そこはまだ県管理の区間だったので、今度は川の中に流木じゃなくて、実際に木が生えてしまっているようなところだったんですが、ちょっと急勾配の川でした。300分の1~400分の1だったかと思います。堤防の上にも木が生えていたし、高水敷にも木が生えていたようなところなんですけれども、よくよく高水敷に木が生えているんですが、堤防に近いところに生えている木というか、また堤防に生えている木の周りで痕跡水位をじっくり見てみると、やっぱり水位が堰上がっていて、ちょっと天端ぎりぎりになっていた、なんてことがあったもので、「やっぱりそういう目でも維持管理を見なければいけないんだな」と。「そういう意味で構造物も余裕を持たせているんだな」というところをまじまじと感じて、今日の話にちょっと近づけますと、やっぱり構造としてどういう仕組みになっていて、どういうことに対してどう対処して

### ● スライド1



いるのかといったことと、その中でも維持管理でしっかり潰せて対処していかなければいけないという事項について、一生懸命に考えるべきだなといったことについて思い知らされたという事例です。今日はそんな軸で、全部維持管理をやろうということではなくて、できることは設計だったりということとやるということを踏まえながら、ちょっと多角的な議論ができればといったことでの前出しでした。

それで、ではまず考えるに当たってですが、まずこの分野はいきなり維持管理と言ってもなかなか人によって捉え方が違う部分もあるかもしれませんので、とりあえず私は、今日はこういう感じで話をさせてもらうということで、私の認識みたいなものを話させていただきたいと思います。これは前々から出しているものなので、以前に見たことがあると言う方もいらっしゃるかもしれませんが、復習です。(スライド2)

これは基本構成ですが、「管理ってどうやって回っているの」と言った時の項目を挙げたというだけですね。まずはデータ収集して、それを整理・分析して情報化すると。それに基づいて判断して手当てをする。これは1つで、ほかの言葉で言うと「PDCA」と言っているものかもしれません。どこが「P」、「D」、「C」、「A」かというのは特別には書いておりませんが、データ収集も目視でやる場合もあるし、ちゃんと測る場合もあると。それをデータベースみたいなものでちゃんと入れておくんだと。それで、こう

いう応答が分かるようにしておくということが重要なんでしょうね。ただ単に集めるだけじゃなくて。集めるタイミングとしては、こういったことが分かるような、どういう応答をしているんだということが分かるようなものを集めるようにしていこうと。これは当たり前。

では、それがどういう感じになっているのかということについてまとめるんですが、一言で言えばどういう感じかと言っているだけでは分からないので、状態が評価できる、今後はどういう方向に変化していくのか、大体見通しが立てられる、といったようなところまでは情報化しないとだめなんだろうと。それで、そういうことをやっているとしたぶんこれまでとは違っているような新たな現象が起きてきてしまって、これは大変だといったこともひょっとしたら見えてくるかもしれないといったことです。ここまでやる。

そうすると、今後の見通しもできていて、「今は大体いいのか、悪いのか」ということが分かってくると、やる・やらないみたいなことが分かってくる判断できるようになってくるということです。それで、そのまま状態監視を続けるときもあるし、何か手当てして直してしまうこともある。それで何を測るのか、いつ判断するのかというのも、継続するならちゃんと決めてやっていくといったようなことです。こっちの気づきになってしまうと、こういうところまで決められなくて、ここから七転八倒の試行錯誤が始まると思いますが、そういう場合もあるということです。

それで手当てとしては、例えば木を切りましようとか、掘削しましようというようなことがあります。それで計画の見直しなんかもここに入れてもいいのかなということを書いてあります。

それで最後、ちょっとこれが一個のサイクルでグルグルと回るとしたら、いつかの段階でそういう風にグルグル回っているんだよということを、河道を設計する人とか、環境管理をしている人とか、流域規模でいろいろな土砂のやり取りをしているところ

● スライド2

### 河川管理の基本構成

- データ収集
  - 目視/測る
  - データベース(大出水・人為改変への応答)
- 情報化
  - データ整理～分析(状態評価・今後の見とおし)
  - これまでと違う新たな事象(気づき)
- 判断
  - 手当のやるやらない
  - 状態監視の継続(何を測る、いつ判断(気づき→試行錯誤))
- 手当
  - 補強/補修
  - 状態監視計画の見直し(新技術導入含む)
- 情報共有
  - 河道設計、河道計画と、
  - 河川環境と、
  - 海岸、ダム、砂防と、... (流域土砂管理)
  - 予算・手段・継続性(全河川の統括管理・骨材など利用、...)

と情報共有をしていくべきだろうといったことも、管理の1つの基本構成としては重要だろうということで挙げております。それで当然こういった管理はどれぐらいの手間をかけてやっているかということで、こういう継続性を確保するためにいろいろなことを考えなければいけないということについても、どんどん情報を出していかなければいけないのかなと思っております。

それで字だけでは分からないので、ちょっと絵にしてみたっただけですね。(スライド3)先ほど言った、上の「データ収集」と言うのはたぶんここだろうと。まあ縦軸ですな。何を測るんだらうかと。測って、値にするところまでやっているとなおよい、と。定性的判断なら、「A・B・C・D」なんていうのでもいいのかもしれませんが。とにかく何を測り、ランクを付けられるようにするかというようなことですね。

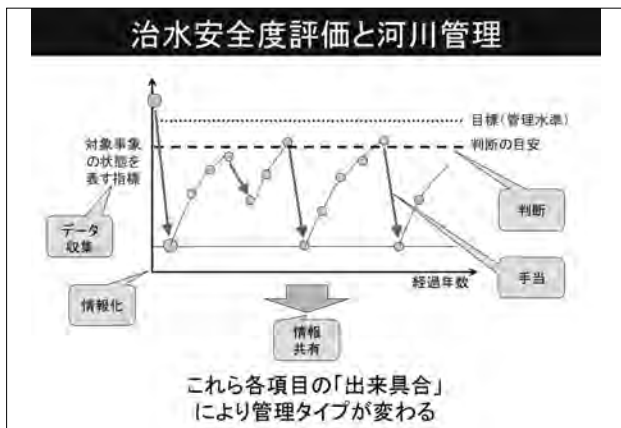
それで「情報化」というのが、例えばこんな感じで絵にすることだろうな、と。プロット一つ一つが取られたデータなんですけども、例えば経過年数との関係でどんな風に変化を繰り返しているのかなというのが見えるようにするということですね。それで「判断」というのが、「これを超えてしまうとちょっとヤバイぞ」というものが何らかで設定できるでしょう。そうしたら「ここで判断しなくちゃね」という判断の目安というのを設けたら、それを越すか、越さないかということでやっていくというのがひとつ

つのやり方。こういうものを自分で引かなければいけないといったことですね。それで「手当」というのは簡単で、もう1回同じところに戻すといったことになります。それで、こういう繰り返しをしていくことが「情報共有」だということです。これが私が今「管理」と言っている、行儀よく書いておりますが、ひとつのひな形だと思っております。

そうしたときに、ではこの項目の一つ一つのでき具合で管理のやり方がちょっと変わってきてしまうなということで、これも以前にちょっとまとめたものですが、管理のタイプの区分というのを出したんです。それで今挙げている内で、「手当」というのは、木を切るとか、そういう手当での仕方が困ってしまうと言う人はあまりいなかったと思ったのでこれ置いておいて、データの収集の仕方とか、判断の仕方、あとは情報化の仕方、特に将来ちゃんと見通せるかみたいところを重点的に置いて、この2軸で判断しようということです。(スライド4)

それで一番お行儀のいいというか、うまくいっているというのはこの「A型管理」の類ですね。大体、対象が絞り込まれている。何を測ればいいのか分かっている。どこでやればいいのかという判断基準が明確。で、ある程度将来も見通せる。ただ単にトレンドで行く場合もあるし、ちゃんといい予測方法があってしっかりと予測できるという場合もあると思いますけども、とにかくある程度近い将来を見通せるという段階です。そうすると、さっきのようなき

● スライド3



● スライド4

		河川管理のタイプ区分		
		データ収集 判断	点検対象とする事象が絞り込まれている。絞りがきつ過ぎる。AND 対策実施の判断基準が明確	点検対象とする事象がわかっていない。絞り込まれていない。OR 対策実施の判断基準がないまたは不十分
情報化				
事象の進展がある必要な確度で見通せる	変化の機構に基づいて将来予測が行える	AA型管理: 整備と連携した管理状況 →河川設計の段階で管理の負担軽減を図っていく戦略的な管理	B型管理: 当座選定した事象を軸にその他関連する事象も幅広く調査し、判断を行う状況 →事象の観測・解釈を工夫し、逐次判断に取り込む改善が重要な管理	
	変化のトレンドに基づいて近い将来が見通せる	A型管理: 変化を見越して先手を打つ判断ができる状況 →各河川で共通してルーチンとして実施すべき管理		
事象の進展がある必要な確度では見通せない(挙動を掴みかねる)		C型管理: 変状発生・進展を捉える状態監視のもと随時判断を行う状況 →個々の管理者の熟練、補修など実施判断事例の蓄積に依拠する部分の大きい管理	D型管理: 有効な手法のない試行錯誤の状況 →種々の調査データの一括分析から危険を嗅ぎ取る(気づき)優れた洞察力を必要とする管理	



れいな絵を描いていくと、こんなことをちょっとやっけていくかというようなきれいな判断ができるようになってくるということですね。

それで「D型管理」、試行錯誤型、一番ひどいのはこれですね。将来はどうなるか分からないし、このまま放っておいていいのか分からないし、何をどう見ていいか分からないという話ですね。となると、これはもういろいろなものをとにかくいっぱい測って、とにかく試行錯誤しなければいけないという形になってきます。以上2つの管理のどっち寄りかということで、この「B型管理」とのタイプがあるという書き方になっています。

それで今日お話をするのは、この辺、特に「D型管理」のになってしまうともう現場、現場で、個別の事例についてお話をしなければいけなくなってしまうので、非常に全体セミナーとして維持管理のことをどう考えるかみたいなことを非常に話にくいので、どうしても話の中心がここになってしまっているということだけはちょっとお断りしながら、今後の話を進めていきたいと思います。部分的には「B、C型管理」にもかかると思いますが、基本「A型管理」みたいな話をうまく回すためにはということいろいろ考えていきたいと思っております。

それで本セミナーですが、では河道の管理、先ほどのようなイメージで捉えるとすると、これを「枠組み」と勝手に呼んでいますけども、あのようによくグルグルと回せるという枠組みを成立させられる条件は何なんだろうかということをもとに考えてみました。それで、その条件を満足させるための工夫のしどころと言うのはどこにあるんだろうか。そのうち何ができていて、何ができていないのか、ということについてお話ができればなということを用意してきました。(スライド5)

それで、まずは河道を中心に捉えて、そこから氾濫リスク、総合土砂管理、環境への連携についてもできるだけ話をしていこうといったことになりま。もう管理だけの話をしてもしょうがないということですね。こういったいろいろなことも連結しな

ければ、なかなか話題として厚みがないということになってしまいますので、ちょっとやっけていこう。これはかなりトライでして、話が難しくなってしまうと思いますが、今はそこをしっかりと考えないといけないなということでやっています。

私の勝手な仕事の話ですけども、そろそろ新しい技術基準を見据えて、調査編が変わったので、計画編、河川砂防技術基準ですが、そろそろ内容を話していこうじゃないかという機運があって、私もそれをちゃんと考えなければいけないと思いながら、普段考えていることをただここでお話をするといったような形になっております。それで、若干、環境だけ本当は小さくしますけども、難しいのでうまくくっついていません。だんだんくっつけようと思いますが、今日はかなり環境のくっつき具合が悪いと思いますので、ちょろっとした紹介になるかもしれませんけども、そういう段階だということでもっと自信なさげになってます。

今日はこういう話ですので、ひょっとしたら「河道の管理というのはこうすればいいですよ」ということを聞きに来たつもりの方がいらっしゃるかもしれませんが、残念ながら今日はそういう話はほとんどできません。私が悩んでいるところを聞いていただくといったような形になっております。だけど、何となく全体の枠組みを描きながら、この部分を工夫すればもっとよくなるんじゃないかなんてことを、私なりに考えてきたところを聞いていただくと

● スライド5

本セミナーでの話題(考えること)

- 「河道」の管理
  - 管理の枠組みを成立させる条件は？
  - 条件を満足させるための工夫のしどころは？
  - 何ができていて、何ができてない？
- 河道を中心に据えて、そこから氾濫リスク・総合土砂管理・環境への連携(繋げていくポイント)についても議論を広げて行くことを試みます。

いう形でやっていきたい、とこういうことです。

では、早速入ってみたいと思います。まず、一番最初の話で、この枠組みを成立させるにはどういう条件を整えなければいけないかということですね。それぞれの、先ほど見た、データを取るとか、情報化するといったところについて、今の状況について簡単におさらいしようと思っております。それで目視点検はどうなっているかということですが、最近こういうことに携らせていただいて、ちょっと途中の項で持ってきてしまったかもしれませんが、「目視点検についてこういうことをやるんだよ」ということを一生懸命にまとめてみたので、それを持って来ました。(スライド6、7)

それで①、②、③とここに書いてありますが、当然、「流下能力が確保されているか」が①、「構造物の安定性を確保するために河道の形状がちゃんとなっているか」ということが②です。それで「および」ということで、③で「河床高、樹木繁茂等の経年変化の状態監視による流下能力・構造物安定性に支障を来すような河道条件に達するのを未然に察知」する。ある程度は先を見通せと言っているようなことですね。この①～③を目視点検としたと。①、②が現在の状態の評価ですね。このまま、今のこの状態で大丈夫か?と。③は先を見通せと言っているようなことであります。

で、難しいですよ、目視点検。目視点検だけで流下能力が確保されているかというのを判断しろと

言われても、中小河川の三面張りのような川で、河床が上がっていて、目で見えてもかなり上がったなというところなら、目測で大体の流下能力を評価できるかもしれませんが、一級河川でやれと言われてもなかなか難しいと思いますね。ですので、ここにちょっと書いたんですが、河道に関する状態把握はある一定期間ごとの測量の調査結果、縦横断測量とかといったものの調査結果を用いて、いわゆる分析評価をやるのが基本であると。それを助けるのが目視点検だといったような、言い訳じみたことが書いてありますね。やはり、こういうものを評価するときに、ある程度最初に危ないところ、「ここはちゃんと見ておかなければダメだぞ」というところを指定して、そこで堆積が進んでいるのかとか、護岸が壊れていないかみたいなことを目視点検していくというようなスタイルになるんだろうなといったことです。

ですから、「5.1.1.2 基本的な作業」ということが出てきておりますが、この1行目、そういった重点箇所をあらかじめ抽出しておき、やるのが基本であるということ。そろそろ危ないぞというところなので、ちょっと堆積したとか、ちょっと洗掘が進んだというのが目視点検でも分かるレベルでも、このまま行くと目的③みたいな、今後の見通しだとか、場合によっては状態、このままで大丈夫かみたいなことがある程度判断できるといったようなそういう仕組みになっているんだなと思っております。

● スライド6

河道の目視点検	
5.1.1.1	目的 河川維持管理技術講習会テキスト(基本編)より抜粋
河道の点検は、 ① 流下能力が確保されているか ② 構造物の安定性を確保するための所定の河床高・高水敷などが確保されているか を把握すること、および ③ 河床高・樹木繁茂などの経年変化の状態監視による、流下能力・構造物安定性に支障を来す河道状態に達するのを未然に察知 することを目的として、土砂堆積、樹木群、河床低下、河岸侵食、河口砂州等を対象として、主として目視により行うものである。	
(解説) 河道に関する状態把握は、ある一定期間ごと(その間に大出水が生じた場合にはその直後に縦横断測量、河床材料や植生等に関する調査結果を用いて行われる分析評価とともに実施することが基本である。これに対し、ここに示す点検は、目視を主体として行うものであり、これまでの分析評価により見出した要留意箇所などに重点を置きつつ(目的①、②)、河道変化等の経過観察(目的③)を行うものである。	

● スライド7

河道の目視点検	
5.1.1.2	基本的な作業
目的①、②の河道の点検は、過去の調査資料などから以下のような重点箇所(区間)をあらかじめ抽出しておき、現地に定点を設けるなどして、河道状況を把握する作業が基本となる。 ① 詳細点検など措置の必要性について判断を行う目安として別途設定した状態(例えば河床高、樹木繁茂範囲など)に達している箇所(区間) ② 目安とした状態には達していないが、近年変化が進行しており、そのまま継続した場合には近い将来(例えば次の定期点検までの期間内)に目安とした状態に達する箇所(区間) また、目的③の点検(状態監視)については、重点箇所(区間)のみでなく、全川にわたり実施するものとする。 なお、河道の変化が顕著な出水が生じた場合には、出水直後に上記の重点箇所(区間)だけではなく、全川にわたり点検するのがよい。	

それで例えば流下能力の評価、目視点検でありますと、「5.1.2.1 概要」と書いてありますが、これは当たり前のことなのですが、解説として流下能力は土砂の堆積による河積の減少、樹木繁茂、死水域の形成、こういうことについて目視点検を下さいといったことです。(スライド8)それで点検要領として、河道の河積の有意な現象が懸念される砂州の形成や拡大、河岸・高水敷上の土砂堆積が生じていないかといったことですね。もしこういうものがあれば、すぐに危ないと判断してもいいぐらいのところを重点箇所として選んでおいて、やりなさいというような形になっていると思います。ですから裏返せば、逆にそういうものなしに見ておいて、ちょっと堆積したからと言って、やるということはないということですね。逆に言うと目視点検だけでは判断できないということだと思います。ですから、こういうやり方になっているんだろうと。

そうすると測るということが重要になってきているんですが、定期横断測量、200mピッチの横断測量をやっていますけども、やっぱりそれだけではなく、最近新しい技術も出てきているというところで紹介です。

最近だんだんできるようになってきたと聞いておりますが、国総研もこういった開発研究公募というのをやっております、民間の技術を研究費を出しまして実務に反映できるように開発を進めてもらう、ということの中でやっていただいたんですが、

一般的なレーザープロファイラーではなくて、水中まで透過して水面下の河床の高さまで測れるという新しいやり方が、海外で使われていたのを日本でやってみたらどうだということやっていただいた研究の成果を持って来ました。

これは一つの例ですが、この白く抜けているところは深過ぎて測れていないという状態ですが、この部分は測れているということです。やっぱり大体皆さん、想像がつかますように、深くて水が濁っているとある一定以上になると測れないということこういうところが測れていないんですが、こういうところももう取れるようになってきていますということです。それでこの研究開発をした方々によると、こういった箇所は次のページでお見せする別の方法でうまく測れば、川によっては定期横断測量と同等、またそれ以下の規模でできるといったようなことも示されつつあって、なるほど、では同じお値段なら200mピッチではなくて、こういう砂州とかも、これは拡大すると河床波の凹凸まで分かたり、もうちょっと頑張るとこういうところを別の方法で測ると、根固めブロックまで形が見えるようなところまで分かりますので、維持管理に使えるような情報をもっと増えてくるようなデータになってきますので、こういうようなものをどんどん使えていければなということでご紹介をします。

それともう1つと言ったのは、ご案内の通り船につけた音響測深器で、これで深掘れのところだけをずっとこうやって辿っていったときの測った例なんですけども、こういう護岸、根固めブロックですが、これがこういうところにポツポツとある。これは模様がこのブロックですね。それで最深部がここですけども、こういう根までブロックが届いているかということまで分かるということです。なかなか水面から見てると分かりません。さらに、こういうものを使うと一番知りたいところ、根固めブロックが足りているかなということが直接的に分かってくるということがあっていいなと。また、普段の洗掘もそのまま分かりますから、よりよい管理がで

● スライド8

## 河道の目視点検

### 5.1.2 流下能力

#### 5.1.2.1 概要

流下能力の点検として、土砂の堆積状況、樹木群の繁茂状況および漂流物の構造物への集積状況について観察するとともに、それらの経年変化を状態監視する。

(解説)

流下能力は、土砂の堆積による河積の減少、樹木繁茂による死水域の形成・粗度の増加によって低減する。これらがある一定以上まで進行すると、所定の流下能力が確保できなくなる。目視点検は、これらの進行状況を観察し、詳細点検による流下能力の再評価の必要性を判断する情報として整理するものである。

#### 5.1.2.3 点検事項

＜点検要領＞

- ・ 河積の有意な減少が懸念される砂州の形成・拡大や河岸・高水敷上への土砂堆積が生じていないか
- ・ 低水路拡張を行った区間で、再堆積による川幅縮小が見られないか

きてくるかなということです。こういうものをどんどん活用できるように考えていかなければいけないだろうということが、1つ課題としてあるということです。(スライド9)

では測るのはそういうことだとして、情報化の方はどうなんだということで、我々の方でちょっと頑張ったというのが、ほかでも話をしましたが、「河道管理基本シート」と呼んでいるものです。さっきやったような定期横断測量のデータを、ここに縦断図としてパーッと最深河床高として書いております(①)。それで、その河床高に対する水位を計算した結果もここに入れてます。それで木がどこに生えているか(②)、過去3回分ぐらいの定期横断測量を持ってきて、平均の河床高であったり最深の河床高が経年的にどう変化しているか、上がっているか、下がっているか、というのを書いてみたというものです(③)。それで、その局所洗掘が堤防に近いところにあるのか、川の真ん中あたりにあるのかというのが分かるように滲筋をこれでたどったようなもの、そういう図を描いたんです(④)。それで湾曲しているかどうかというのはどこなのかというのが分かるように(⑤)。以上の①～⑤の情報を書いてあるということです。(スライド10)

それで、ちょっと工夫しまして、水位については仮に全部樹木を切ったらどのぐらい水位を下がるのかというのを緑で、今生えている状況なら青だよと、それで例えばH.W.L.みたいなものをこの間に入れて

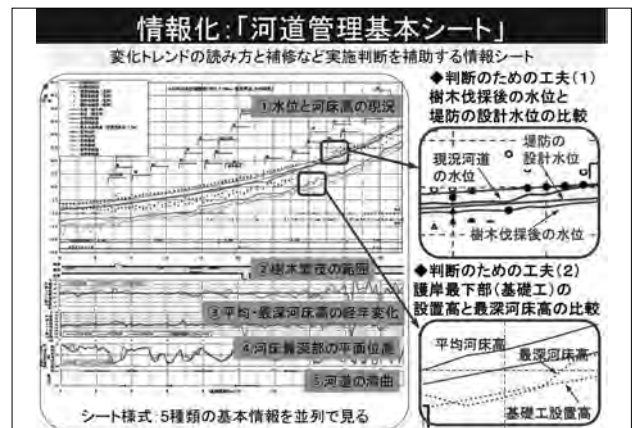
みて、今どういう段階なんだということを判断できるように工夫していると。もう1つが、最深河床高の方でして、なかなか護岸の基礎高というのは台帳で整っていないらしいんですが、あればあったでしっかりした値を入れればいいし、なくても維持管理でまず危ないところがどこだということを判断したいので、やや精度は劣るかもしれませんが、事務所の方に聞くと大体護岸とかを作るときには、昔で言う「計画河床高」というのがあった時代が多くて、それよりも1m深く掘りなさいとか、2m深く掘りなさいと言って作っているところが多いという話を聞いておりますので、それで実際に測ってみるとその辺にあたりしますので、では、その伝承に合わせてというか、それを大体の目安として引いてみて、それより高いか低いかで判断しようみたいなことでやらせていただいております。

こういったものを使って判断していこうということで、判断のフローみたいなものを作ったのがこちらでして、最初は護岸の方ですが、「この護岸はもう根継ぎをした方がいいんじゃないか」とか、「ちょっとしっかり調べた方がいいんじゃないか」ということを判断するためのフローです。スタートは、最深河床が河岸に近接しているかということです。していたとして最深河床高が管理基準河床高を下回っているか、それで、洗掘がさらに進んでいるか、みたいなことをやっていこうということです。これも下回っていると危ないので「要注意(A)」で、

● スライド9



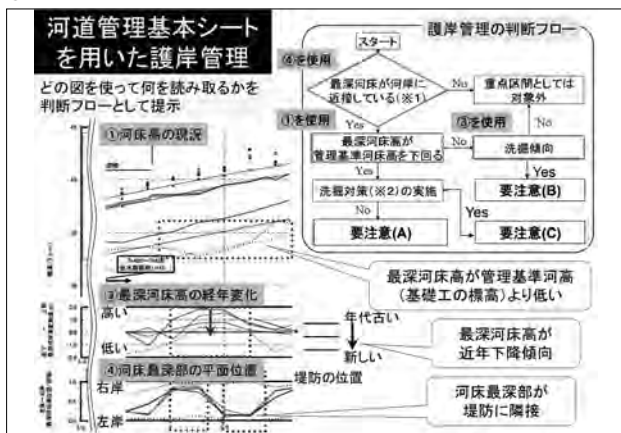
● スライド10



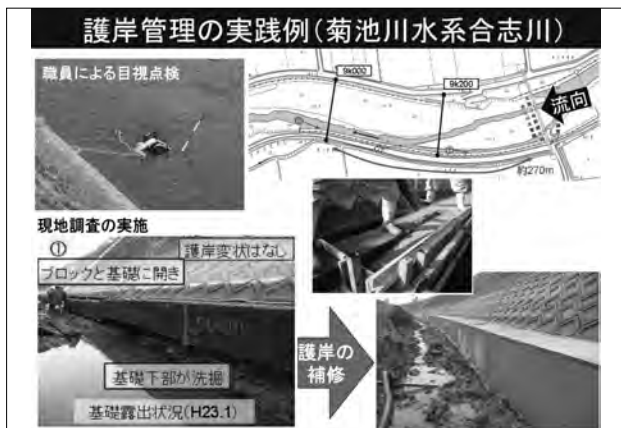
下回っていないけど洗掘がけっこう進んでいると危ないから「要注意 (B)」ぐらいだみたいなことです。それで対策をしてあれば別にいいと。それで河岸にも接していなければ、「別にそんなところはあまり見なくてもいいや」と、そういう形で簡単なフローを作ったんですね。(スライド11)

そうすると、さっきの河道管理基本シートのうちの①、③、④なんかを使うと、この部分はこう堤防に近づいていると。それでちょっと分かりにくいんですけども、最近洗掘傾向かというのは、年代が古いものから新しい順番で見てだんだんと下がってきてしまっているということで、「ここは進んでいるな」と分かります。それで、ここに先ほど見ていただいた護岸の根の高さと最深河床高の絵を描いたので、ここで下回っているかどうかというのを見ていただいて、この3つの情報を見てこれで判断しなさいということをお渡ししたといっ

● スライド11



● スライド12



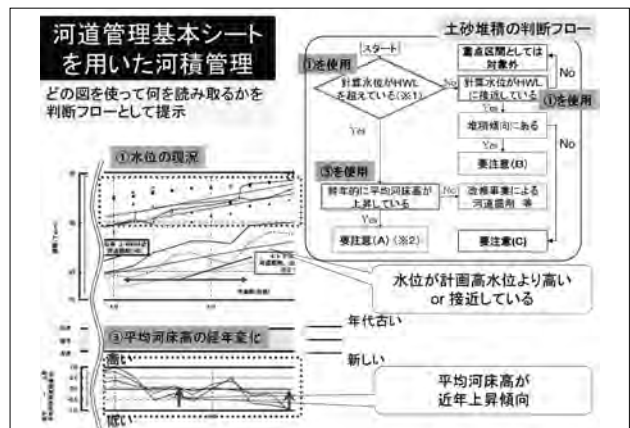
たことであります。

それで当然これを使って、ここは危ないという話になって実際職員の方が潜って見てみたら、こんなに水中で基礎が浮いてしまっていて、下の土砂が見えているということで、これはいけないということでこのように根継ぎしていただいたというような箇所があったということです。それで、このように実際に使われつつあります。(スライド12)

それでもう1つ、土砂堆積に対して河積の管理というのも同じようなフローを作っています。これもまた2つ、3つぐらいの判断でやろうということになっておりまして、今は計算水位がH.W.L.を超えているかどうかということですね。超えていて、さらに経年的に平均河床高が上昇しているようだとかなり要注意だと。こっちだと、しっかりと注視したいというようなことをやっているということですね。(スライド13)

それで、この図もこういうのに使っていて、最近では上がっているだろうかとということで経年変化の図を見てやっていると、こういう形です。こんなことで判断しようということをやっているの、一応、「判断」というのはこれぐらいのことならできらうということでお渡しをしているということですね。案外こういう目で、定期横断測量とか情報を使い切れていないという声が現場から聞こえたので、思い切ってこういう図を作ってみたらどうだということを数年前に提案させていただいて、今は試行的

● スライド13



にいろいろな事務所さんで使っていただいていると認識しております。(スライド14)

それで、やってみたということで、穂波川の事例なんですけども、ここは掘削を1回したんですね。この湾曲部のところなんですけど、これは支川なんですけど、こう行って本川と合流するという川なんですけど、見ていただいたとおり市街地がかなり続いておりまして、ここに内水排除のためのポンプがついていそう。それで、この水位が上がってしまうと、ご案内のとおりH.W.L.近くに水位がなりましてポンプをパタンと止めなければいけないということで、河床が上がってしまって、小さい流量でもH.W.L.に達してしまうとポンプを止めてしまうので、内水が浸かってしまうといったことなので、H.W.L.を超えるか、超えないか、上がりやすさが被害に直結しているという、非常に緊迫したという意味において、一生懸命に考えてくれた川です。

それで、そういったことで河積を確保するために1回掘削したんですが、やっぱりすぐに土砂が堆積してしまうということで、対処しようとするやり方を導入しているということです。それで、この紫の部分、一番大きいものですが、掘削してだんだんと濃い部分が戻ってくるということになってきているんですが、ではちょっと多目に掘っておいて、さっき掘ったところが100%戻るのは何年かかるだろうかというのを一生懸命に調べまして、これは過去の掘削した事例があったので、それと似たような箇所

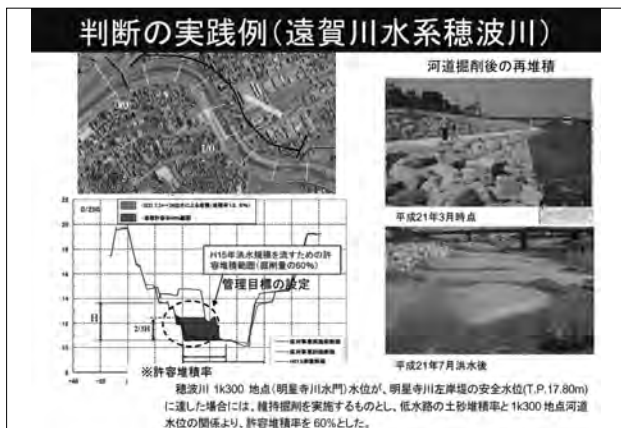
で、何年後これぐらい堆積しているなということのプロットして作ったものです。難しい数値計算をしないで、エイヤッと作ってしまいました。

そうすると、今回の多めに掘った掘削量は、10年レベルぐらいまではもつだろうと。では、どのぐらいで判断しようかと言うと、やっぱりこのぐらいのところまで、60%ぐらいまで埋まったところでしょうかと判断すれば、最初に言っている内水排除、内水の氾濫の危険性を避けるとお約束したところはどうもかなり確保できそうだとということで、そこで判断しようというようなことを作ったと。それで判断できるようなフローをここに、改めて先ほどの図に加えて、自分たちでも「60%だ」と決めてやりだしたといったようなものです。

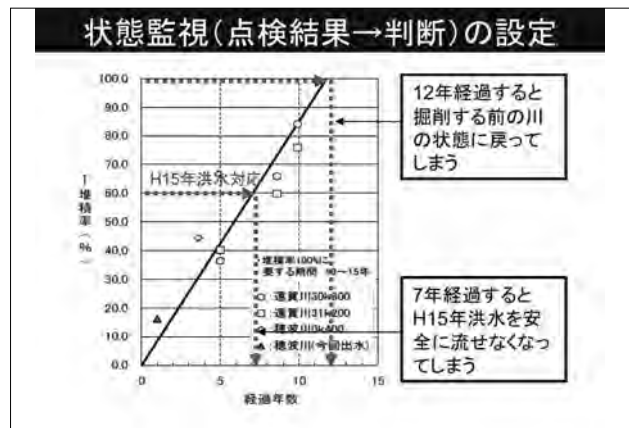
それで、こういう工夫がある、また新しい技術があるということを一歩整理しましたので、これを改めて整理しまして、ではさっきの枠組みを成立させる条件は何なんだろうかと見てみますと、やはり直轄の川ですと地形測量がメインで、やはり目視だけではなかなか難しいよなということでしたから、やっぱり定期横断測量みたいなもので判断するんだろうと。そうすると、そういうきっちり判断できるようなものは、やっぱり5年間隔ぐらいが今は普通かなという感じです。そうすると、この「5年」という間隔でものを見るというのが1つの縛りになっているというような整理です。(スライド15)

それで「情報化」、河道管理基本シートを見ても

● スライド14



● スライド15



らいましたが、ああいうものでとりあえずはいいだろうと、今日はそう考えることにします。ただ、実務を見てみると、データをこうやって集めてきたり、手当てして状態が変わったりしたのがなかなかシートに反映できていなくて、更新ができていないということの方がむしろ一生懸命にやらなければいけないことかなと認識しております。でも、ここはあまり大きな問題ではないので、今日のところは仮置きします。

それで「判断」ですが、設計と同一の手法で基本評価できるのを今日は扱いました。「洗掘深で根固め、または根入れが最深河床高よりも下か」になる、という単純なことです。流下能力も普通の計算ですね。いつも計画論で使っている流下能力の評価と同じようなやり方でできるでしょう、と。なので、これは判断は可能でしょうと。判断自体はできるでしょうと。では、今後の進展を見極めてどの程度手前で判断するかというのが難しいんでしょうと。ここをどうするかということが、この枠組みを成立させる条件のひとつとして重要だろうと。

またもうひとつ、先ほど簡単に言ってしまいましたが、ピッタリだと時間変化に対応できない。100%のうち「60%で判断する」と言いましたから、60%までは溜めていいような、「マージン」という呼び方をしますけども、時間的に対応していくためにどうしても溜まってしまうときに、「溜めしろ」と言ったらいいんでしょうか、ここまでなら当初の目指した機能がしっかり果たせる、それ以上のものを持っている、といったようなもので、そこに達したらやらなければいけないということとして、これがピッタリの能力だと、もう次の瞬間から土砂が堆積したら足りなくなってしまうということですから、それではできないと。なので、マージンの付与が管理の前提だろうということ、これも書いてあるということです。(スライド16)

それで手当、マージンを回復するというのは、こういうことですから、取り立てて今日問題だということでもない。

ということとして、今言った3つぐらいだろうと。ここの「5年間隔」、「どの程度手前で判断するか」、「マージンの付与」、ひょっとすると、これが私が今考えている、管理を成立させる条件としてしっかりと認識してどう対処するかと考える1つのキーポイントかなということでは。

では、さっきの管理の枠組み図に当てはめるとどうなるかということ、「5年間隔」と言っているのが、このプロットの間隔は大体5年ぐらいになってしまうんだらうなといったことです。それで「管理のマージン」と言ったのが、ここからここまでになりますが、ここでちょっと、さっきは下に書きましたが、それで「判断が幅を持つことへの対応分」と書いてあります。ここでたぶん、判断することになってくると思いますが、これは結果ですからここに書いてありますが、ここまで行ってしまうかもしれないと判断するかもしれないし、手前で収まってしまいうかなというように考えるかもしれないし、なかなか予測というのはこのラインに対してピッタリで超えるかということではなくて、判断が幅を持つ。予測と言うよりは、見通しが幅を持つ、と言った方がいいかもしれませんね。見通しがどうしても幅を持つてしまうことに対して、その分控え目に降ろして判断していかなければいけないということになっている。それがあっていいでしょうと。それで、このマージンがこういったものも含めて、実際に起こす変化の大きさに対してこういうイメージ、5年に1回しか見

● スライド16

### 管理の枠組みを成立させる条件は？

- データ収集
  - 地形測量(定期横断)は概ね5年間隔
- 情報化
  - 河道管理基本シートなど
  - 「データ収集」「手当」に応じてまめに更新するのができていない
- 判断
  - 設計と同一の手法で機能評価できる→判断可能
  - 今後の進展を見極めて、どの程度手前で判断するか
  - なお「ぴったりだと時間変化へ対応できない。マージン付与が管理の前提
- 手当
  - マージンを回復する手当(掘削・伐採・根固工など)



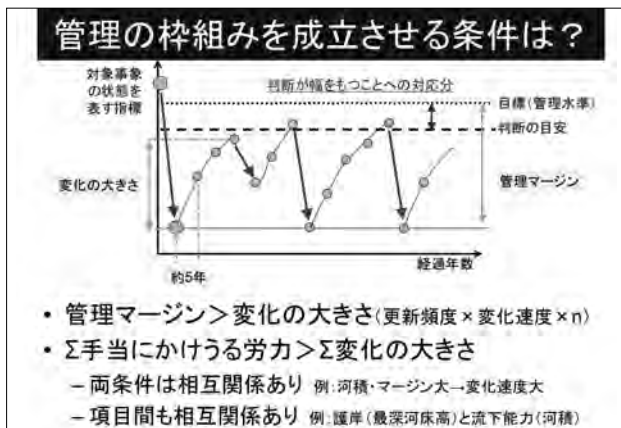
ないのに一発でこっちに行ってしまうとちょっと辛いので、数回見る中で判断できるようにしなければいけないというのが枠組みを成立させる条件ということだと思います。(スライド17)

そうすると、どういう書きぶりになっているかというと、このマージン自体が変化の大きさ、更新頻度×変化速度×n、つまり傾きですが、こんな感じで何個もプロットできるというイメージですかね。そういうぐらいの大きさをしっかりと確保しなければ、ちょっとうまく判断できないと。一度にビューッと行ってしまくと、5年間隔で見ていたらアウトと、当たり前のことですね。

それでもう1つ、手当てにかけ得る労力、これは測量するということも含めてなんですけども、自分たちの持っている実力が、川が起こす変化の大きさに対して自由が効くか。ベタに言ってしまうと、掘削し続けるお金を持っているかというようなことであります。この「Σ」がついているのが河道掘削だけでなく、護岸の維持管理もありますでしょうし、いろいろあると。諸々の手当てについて全部積分してというイメージを込めたつもりです。それで、この2つが満足できていれば、たぶんこの絵のとおりになるだろうというようなことで書かせていただいているということで、ベタに条件を書けばということであれば、こういうことになってくるのかなということでもまとめさせていただいております。

ただ、これは非常に、書いてしまえばこうなんで

● スライド17



すけども、厄介でして、この2つの条件は相互関係があると。河積で行きますと、河床高の高さだと思っていただければいいと思いますが、あとでちょっと出てきますが、マージンを大きくしてしまう、つまり河積を大きくしてしまうと当然そこに土砂が堆積しやすくなってしまいうだろうと。ちょっとのときよりもいっぱい掘ったらなってしまうだろうと、直感的に思われると思います。そういう場合もあるでしょう。そうすると、この変化速度自体が立ち上がりが大きくなってきてしまって、だんだんこっちに圧力をかけてしまうということですね。いっぱい手当てしなければいけない量が増えてきてしまうということも起こり得ます。

それともうひとつ、項目間も相互関係、ではマージンを大きくして、そこまでは大丈夫だということになったとしても、最深河床高が一緒に下がってしまうと。そうすると、護岸の方をちょっと多目に手当てしてやらなければいけないということになってきてしまう。また、環境もそういうようなことがあるかもしれません。なので、一つ一つ分解してこの条件を満たすようにやろうとしてもなかなかうまくいかなくて、こっちを立てればあっちが立たないといったことで、この相互調整をどうするかというのが管理として条件を枠組み精査する条件としてやっぱりネックになっているところとか、なかなか難しくてどう考えたらいいんだろうということになってくるのかなと考えております。

ということで、よくよく私なりに考えてみると、「河道の維持管理」というものを考えてみると、現場でどう見るといったことについて、そんなにまだまだいいのかなと。やっぱりああいう条件を成立させるような河道の設計をどうするかということの方がむしろ重要なのかなと思っていて、ではここは一回その考え方を、自分の素直な気持ちを尊重して、河道の設計を軸に据えて考えてみましようということにしてみました。(スライド18)

それで変化速度、どこまで掘ったら何m/年ぐらいまた河床が上がってしまうとか、どれだけ木が増え



てしまうというそういうイメージで見ていただければいいと思います。それで1年当たりの設計だと思ってください。それで、労力とマージンの兼ね合い、1つ目の条件ですね。これからは「兼ね合い」と呼ぶことにします。それで、河積、洗掘などの項目間のバランス、どちらかを頑張るとどちらかが下がってしまうというバランスですね。これも「バランス」と呼ぶことにします。この「兼ね合い」と「バランス」の条件を満足させる調整としての設計という、新しい観点でやっていかなければいけないというような形です。新しいというか、あまり意識しなかった、と言った方がいいかもしれません。かなり昔になると、ただ単に流下能力を満足するためには、このぐらいの断面が必要ですよ、というように定規で書いてとりあえずやっていたかもしれませんが、これからはかなり意識的に、「こっちがこうなるとこれだけ変化するけど大丈夫?」とか、「かなり掘れてだめにしてしまったけど、洗掘は大丈夫だろうか?」ということに対しても、意識的に設定していくようにならないといけないなということで、あえて書いております。

それで、こういったものが先ほどの私の考えで行くと枠組みを成立させる条件なので、その条件を成立させた上で、では管理手法自体の工夫もしていきましょうということですね。私の考えたやり方では、どうも管理手法の工夫をしたら、条件を満たすという感じではなくなったというイメージです。

● スライド18

**条件を満足させるための工夫のしどころは?**

- ・ 河道設計を軸に据えて
  - 変化速度 (m/年など)・労力とマージンの兼ね合い
  - 河積・洗掘など複数項目間のバランス
- 兼合い・バランス条件を満足させる調整としての設計
- ・ その上で管理手法の工夫
  - 判断の目安: 管理目標のどの程度手前とするか
  - 今後の進展を見極め方
- 「判断が幅をもつことへの対応分」を縮小することを目指して、データ蓄積・情報化→河道管理基本シートの改善
- ・ さらに一步踏み込んで
  - データ更新頻度の見直し (新技術の導入を含む)
  - 総合土砂管理の実践
    - ・ 維持掘削量の低減
    - ・ 予算・手段・継続性の確保 (骨材としての活用など連携、全河川の統括管理)

管理にかける労力確保のための取り組み (リスク低減・ストック効果・河道管理でむしろ環境よくなった)

それで、管理目標をどの程度手前とするか、先ほどのこの図のここです。ここはできるだけ小さくできればなおさらいいよね、というのが1つ工夫としてあるんじゃないだろうか。進展の見極め方、判断が幅を持つことによる対応分を縮小することを目指して、いろいろ工夫してみたらどうだということがあるでしょうみたいなことですね。こういうことでシートも改善すればいいし、自分たちが取っているデータも、情報化するに当たっても、どんどん精度のよいやり方をしていくことを考えればいいということはかなりあるんじゃないだろうかということを書いております。

さらに踏み込んでいきますと、先ほど空中から河床高も測れるような時代が来つつあるといったようなことを申し上げましたが、ではああいうものももっと進んで、コスト的にもうまくいくようになったら、5年に1回に縛られている必要もないでしょう。もっとできるようになれば、もっといっぱいやってもいいじゃないかと。場所を区切ってやってもいいかもしれません。そういったような工夫をさらに一步踏み込んでやっていくということもあるでしょうし、もうちょっと大きい枠組み、河道だけで頑張らない、総合土砂管理の実践の中でやっていくということ。ただ単に山から海へということだけじゃなくて、事業関連系と言ったらいいんですかね、ちょっとだんだんとそういうことまでやっていいのかなと言っていますけどね、骨材として活用してもらうために自分たちの維持管理費をあまり削らないでやってもらえるものがあったら、どんどん連携してやれるようなことができないかとか、そういったことについて連携していければなということについても考えてみております。

それで管理にかけ得る労力確保のための取り組みとして、頑張っていかなければ。ここが継続性の確保ですが、こういうことだけではなくて、こういう管理全般をやっていると実はこんなにリスクが低減するんだと。それで、そのお陰でこんなに生活がよくなったんだと。ストック効果みたいなものですね。

それで、環境もよくなったということを訴えていて、なるほどね、川にお金をかけると、維持管理をやると、こんなにいいことがあるんだということがやっぱり大きくないと、なかなかこういう枠組みも続けていられないだろうということで、急に取ってつけたようですが、情報提供というか、5つ目の話をちょっとつけた形になっております。

それで、こういうところが工夫のしどころだろうと思っております。ですから、これからの話は、ではこの3つについてどういう工夫の仕方をしようかということについて、私の考えを述べさせていただきたいと思います。

まずは河道設計なんですけど、やっぱりアウトプットとして今までこの辺、河道の形はどうしましょうとか、護岸の配置はどうしましょうかということが重要事項で、これまでもちゃんと検討できているかと思いますが、やはりちゃんと文章化したいな、と。知識で、そのとき作った人たちの頭には入っているけどというだけで終わらせたくないという意味で、取り扱い説明書、「この設計は実はこういう維持管理する前提で書いていたんですよ」、ということをちゃんと残していく。もうちょっと言うと、「この設計はここまでの外力でしか考えていませんが、仮に超えますとこんな被害の出方をします」ということを出して、それを維持管理法に、例えば上下流のバランスを考えたような樹木伐採の仕方とか、「あまり木を切り過ぎるな」とか、「ここは必ずいつもちゃんと掘っておけよ」というようなことを分かりやすく書いたようなものを作っておかないといけないかなと、こういったことを目指していくべきではないかということです。

では、こういうまい取り扱い説明書を作るとなるとどうしたらいいかということで、実際に幾つかやった事例みたいなものを紹介します。これは「兼ね合い」の方です。いっぱい掘ってしまうと、いっぱい堆積することが分かって大変じゃないかということについて、どう兼ね合いを取るか、どこまでマージンを設けるかといったようなことについて検討し

た事例です。それで昭和60年代、ここは何もないんですけども、平成18年になるとここはしっかり砂州があります、これは実はこの前の写真をさかのぼりますと、やっぱりこの砂州はないんですね。砂利採取で取り尽くしてしまったという絵です。その後、に再堆積して、この砂州が復活してきたという絵です。(スライド19)

ですから、過去の砂利採取を一生懸命にやっている時代で、この平成ぐらいになってくると止めてきて、またこうなってしまうんですが、流下能力がちょうどここで足りなかったのが、今度の改修もここを掘ろうということになったんです。そうすると、砂利採取が掘削のリハーサルみたいになっておりまして、実際に掘ると何年ぐらいで戻るのかというのが分かるデータが取れたということです。なので、最近のデータというのは重要なんだということをいろいろな場所で話をさせていただいているんですが、うまくいくと過去にやったことが今やろうとしている河道改修のリハーサルみたいになっていて、そのデータを調べるだけであまり無理しなくても、難しい計算ばかりに頼らなくても、いいデータが得られて、どのぐらい労力がかかるかというのが分かるということです。

これはすごく分かりやすかったので、ではせっかくだから計算も合わせて、マージンの大きさを変えたらどれぐらいで戻るかというのを事例でキャリブレーションして出してみたものです。ここでは5年

● スライド19



ぐらい掘ってしまうと、やっぱり相当程度早く戻ってしまうというか、堆積量が大きくなってしまいうので、では3年で何とかと言い出してやった例です。それで3年間でどれだけ戻るのかということで、昭和46年から平成21年までの流況のデータがあったので、処理箇所は同じにして、それを短冊状に3年ごとに切りまして、その3年間の流況を与えて、どれだけこういう掘削したところに堆積するかということは何回もシミュレーションして、それで出した平均値の結果です。(スライド20)

そうすると、これは大体、縦断距離と合わせてこの下の図を重ねたつもりですけども、このあたり、やっぱり掘削して、先ほど砂州がなくなったみたいなどころまでやるんですが、そうすると3年間で確か、この200mピッチの区間で6万m<sup>3</sup>ぐらい溜まるデータが、他のところも3万とか4万とか溜まるようなことになりまして、そういうデータが来たということです。

それで当然、マージンも作っておりまして、これぐらいだとぎりぎりセーフだみたいなことになっておりまして、では平均的な年順で行くと大体3年に1回これぐらいの量を掘削をすればいいのかな、ということをやりましたという例です。

なので、やっていることは単純ですが、河床変動計算だったり、昔のデータを整理しているだけなんですけど、いよいよ河床変動計算もさっきみたいなデータを扱えるような、いい検証ができるところ

と言えいいんでしょうか、データがそろっているところはもう量的に信じてこういう設計に使って行きましょうという方向に舵を切ろうかと思っているという例です。それで、こういったものであれば、なるほど、どれぐらいの大きさで、どれぐらいのサイクルにすべきかということを検討できるということで、なるほど兼ね合いのことについてはそれ相応のことができそうじゃないかということは今期待しているところです。

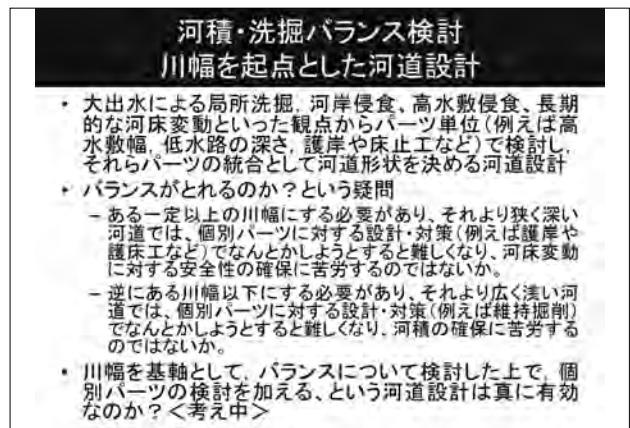
ではバランスの方はどうだということになると、これはちょっと厄介だなと思っています。大出水による局所洗掘、河岸侵食、高水敷侵食、長期的な河床変動というパーツごとに検討して、そのパーツの統合として河道形状を決めるような河道設計にひよっとしたらなりつつないかといったように思っています。どうしてもマニュアル的にはそう書いてないつもりで書いたというの、例えば「高水敷幅は何m以上あると望ましい」みたいな感じに読んでしまうと、ではまずそれを確保と。そうすると、流下能力をしなければいけないから、これだけ掘ろうかと。これだけ掘るとこんな感じだから、では護岸工を張ってしまおうとかという形ですね。パーツのどれを優先するかで違うかもしれないけれども、パーツで見ていってしまっているという形です。(スライド21)

それで出てきたようなものを一回見せていただいたことがあるんですが、やはりかなり不格好でして、

● スライド20



● スライド21



もう一生懸命に過去からあった護岸は危ない水衝部だということで、それなりにしっかりと護岸を固めているのに、わざわざその前に高水敷を作るみたいなことになってしまったりして、むしろ河積をそれで縮めて、流下能力が足りないと言っているのに1回縮めて、それでまた掘るみたいなことになってしまっていて、これは本当にいいのかなと。それで、さらに深く掘るといことになっていきますから、何とか持ち堪えている、しっかり管理してきた、これまで蓄積してきた護岸の維持管理も含めて、やり方を1回放棄して、もっと深くなるようなことに対して対処していくみたいなことを模索しようというような河道設計になっているように見えて、「これは本当にいいのかな？」というように疑問に思ったことがあるといったところが出発点です。

ですので、そういう意味でバランスが取れているのかなと、本当にトータルとしていいのかなという疑問がこのやり方にあつたので、ではやっぱり一回考え方をリセットしてみようかと。ある一定以上の川幅にする必要があつて、それより狭く深い河道では個別パーツに対する設計、対策、例えば護岸護床工で固めて何とかしようとするとなんて難しくなつてしまつて、河床変動に対する安定性の確保に苦勞するのではないかと。設計図上では書けるかもしれないが、後々の維持管理を考えるとこのやり方は相当苦勞するんじゃないか。逆に、ある川幅以下にする必要があり、それより広く浅くしてしまうと、個別のパーツに対する設計で河積を維持掘削するんだとやっても、もういっぱい溜まり過ぎてしまうとかで確保に苦勞するんじゃないかと。

それで、まずはこの2つに対してバランスを検討した上で、このバランスの取り方はここがベストだが、川岸はこうだ、高水敷はこうだということで、個別のパーツごとによくないところを直していくというような河道の設計の仕方をしないとちょっと難しいんじゃないかという当たり前のところに立ち返っているということなんです。なので、もっと前面に出して、こういう書き方にしようかなと今ちょっ

とっていて、河川砂防技術基準の計画編を見てみると、高水敷だとかといったことで個別に書いてあつて、それはそれで書いてあることとしては一個一個重要なことなんですけども、ヘタな取られ方をすると、「なるほどね、その一つ一つをちゃんと足し合わせればいいのね」みたいな感じに読み取れてしまつていたのかなという反省点を込めて、もうちょっとこういうことを前面に打ち出すという考え方をもうちょっとはっきりと、前からあつたと思えますけど、やっていった方がいいかなということをおもっている次第です。それで、これ自体を考え中ということで、これが真に有効なのかと、うまく書けるのかということも含めて考え中だということです。

これから私のこのパワーポイントの中で<考え中>と出てくるのが、私が今考えていて、なかなか今日の結論の中で、こうすればいい、というところまで行っていないところです。しかしながら「ここまでたどり着いているぞ」というか、「考えています」ということについてこれからちょっとお話をしたいと思つています。(スライド22)

それでバランス、では川幅を起点としてやりましょうということなんですけど、「発生頻度の低い大出水に備えて」ということは先ほどもお話をしたとおりなんですけど、やはりそれを維持管理して機能を確保していくためには、ひょっとしたら河床の、特に河積というものを考えたときには、中長期的に累積させる中小出水群での変化の大きさも考えなければ

● スライド22

**河積・洗掘バランス検討  
川幅を起点とした河道設計**

- 発生頻度の低い大出水に備えて、設計した形状(機能)を維持することが求められる。その維持管理の難易度、すなわち維持浚渫の労力を左右する再堆積など、中長期的に累積される中小出水群による河道変化の大きさも、大出水時と同等の重みを持つ。この要請も併せて満たす河道断面形状を見出す考え方の整理を試みる
- 実務では堤間幅を変える改修案が稀であることも一因だが、低水路幅の設定の仕方でも維持管理労力に大きく差異が付きやすいので、川幅として低水路幅をとりあげる。

ばいけないと。そうすると、大きい出水のときに大丈夫かだけではなくて、中小出水のときに起きる変化に対してもうまく維持管理ができて、いざこっちが出たときにちゃんと機能を持っていますという河道に仕上げなければいけないということなので、これとこれは同等の重みを持ってちゃんと対処できるような河道の設計をするという考え方でしょうと。それで実務では堤間幅を変えることが稀ですから、この幅というのは今は低水路幅をとりあえず用いて考えましょう、ということを経験的な考え方として一回整理させていただいております。

それで、ちょっとここからは子どもだましのような話ですが、ちょっと定量的に考えておこうと。変化の度合いがどれぐらいかということ、ちょっと定量的に感覚としながら、実感しながらちょっと議論していきたいので、簡単なことをやってみようということです。(スライド23) こういう単断面の河道があって、これを今、例えばこの断面で流せる、すり切りいっぱい流せる流量がQだとしたら、今計画はその1.5倍流したいんだと。この1.5倍の流量を流すために川幅を拡げるか、掘り下げるかという、単純な2つで考えてみましょうということです。

それで川幅を拡げるなら、流量を1.5倍にするためにはここを1.5倍にすればいいだけです。これは半分拡げるといふ形になります。それで掘り下げるならばということですから、この3分の5乗がかかったものが1.5になればいいんですから、真面目に

計算すると1.28倍の水深にすればいいということ。それでも皆さんご案内のとおり、深くすると掘削量は小さくて済むということです。これは掘削土量はこれだけの量なんですけども、比べてみれば当たり前ですが、深く掘り下げると4割ぐらい得だということ、安く上げようと思ったら高水敷を掘るよりはということ、こっちは好まれた時代もあったというように思っています。

それで、では1.5倍、同じように流れる深い川と広い川ができたわけですが、ではこの同じ1.5倍の流量が来たときにどんな水理量になるのかということのを計算したみたわけ。(スライド24) それで改修前のときと比べてみよう。それで満杯流量Qのときに比べてどれぐらい流速が早くなるかという、当然、川幅を拡げたものは同じ水深だから同じ流速になるでしょう。それで掘り下げた場合には水深が増えてしまったので、当然、流速が上がってきてどれぐらい早くなるかという、大体1.2倍ぐらいになる。これで河床材料の流送状況がやっぱり違うんだなということになります。

では、たかだか2割しか流速が増えないということなんです、これはどれぐらい河床変動に効くのかということのを直感的に見るために、流砂量式を当てはめて見てみました。それを理解するためのちょっとした換算として、流速が大体1.2倍ぐらいになると、これから使う掃流力だと大体1.3倍になるという簡単な換算になると思ってください。つまり、掘り下げ

● スライド23

**単断面で両要件の関わりについて  
具体的に調べる**

マンニング式  $Q = \frac{1}{n} B h^{5/3} i^{1/2}$

- 現況満杯流量Q→1.5倍(例えば)
- 拡幅ならばBを1.5倍(掘削量0.5B×h)
- 掘り下げならばhを1.28倍(掘削量B×0.28h)

⇒ 拡幅に比べて掘り下げは掘削量が約4割減

● スライド24

**1.5倍流量時の流速**

- 改修前(幅B、深さhの満杯流量Q)に比べて
- 拡幅案は改修前と同一(水深が同一だから)
- 掘り下げ案は改修前の1.18倍

⇒ 河床材料の流送量が増加  
少しの流速変化に見えるが、実はこれが効く  
WHY? 次頁へ  
(それを理解する下準備として、  
掃流力では1.28倍:約3割増)

てしまうと3割掃流量が増えてしまうと。その3割とはどれぐらいの影響度合いなんだろうかということですね。

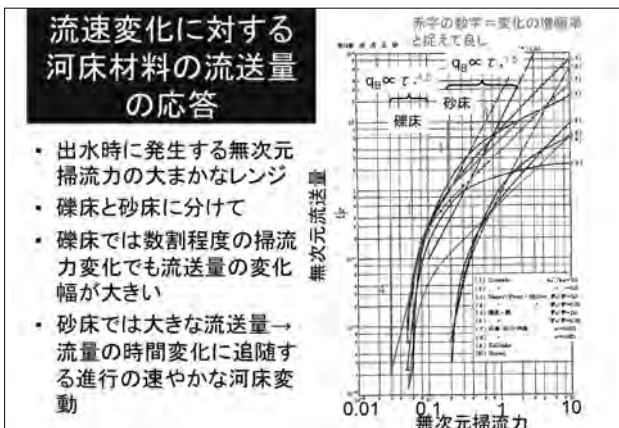
これはよくある流砂量式なんです。横軸が掃流力になっておりまして、縦軸が運ばれる土砂の量を表しているようなものです。(スライド25) それで大体の話ですが、礫の河川だと大体0.1を中心に、このあたりかなという値が取れたものが大出水時の値だと思っています。それで砂の河川ですともうちょっと大きい値で、1からそのあたりかなというところを中心にということで今回書いております。そうすると、この傾きがここに書いてありますが、これが無次元掃流力が増えたときの増幅率だというように思っただけであればいいと思います。ちょっとややこしいんですが、大体これで4倍ぐらいの増幅率だと書いてありますが、これは縦軸、横軸で掃流力に関係するものがこっちにちょっと入っているので、 $4 + 0.5$ になっていまして、4.5倍と。だから3割ぐらい増えるとなると、ごくごく簡単な近似でいくと、3割×4.5倍になるんですかね。そうすると1以上になってしまう感じが分かりますから、礫の川で1.3倍の掃流力が増えるぞということとは、大体、土砂量に換算すると元の2倍ぐらい多く流せてしまうということになっていると。元の2倍になってしまうぐらいだということです。

こっちだとそこまで行きませんが、1.5倍ですから、3割×1.5倍ですから、大体1.5倍とかそのぐらいの

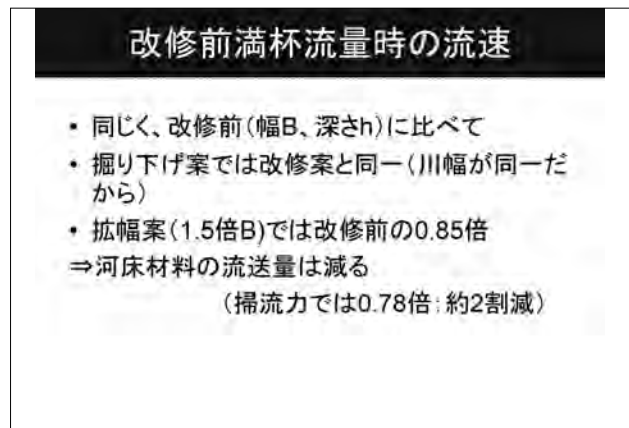
オーダーになってくるということです。案外効くんだということですね。特に礫の河川において、ちょっと流速を変えると、数割程度という意味ですが、土砂量を運ぶ量にかなりダイレクトに影響してくるというようなものだということです。これはかなり事務所の方向けみたいな形で、こういうことに詳しくない方向けにやったんですね。「そんなに流速がちょっとしか変わらないのに、なぜそんなに目くじらを立てているんですか」と言われたことがあったので、何とかそれを説明しやすくしようと思ってこういうものを使ったんですが、逆に分かりにくくなっているかもしれませんが、川というのはそういうものだなと、もし馴染みのない方がいらっしゃったらそう思っただけであればと思います。案外、ちょっとの流速の変化が、運ぶ土砂量を大きく変化させるんだというような単純な理解でよろしいかと思えます。それで、土砂で見ると、さっきの「掘り下げる」と「幅を拡げる」では、起こり得ることはかなり違うんだなということです。

では次に、改修前の満杯流量時の流量が流れたときにどうなるんだと、これは中小出水のイメージです。(スライド26)1.5倍流量が流れる川になったので、では1.5倍にする前の元のQが拡げた川、掘り下げた川になったら、どれだけ流速が変化するかということをもう1回やり直しました。それで、今度は掘り下げたものは全く水深が同じだから流速は変化しないんですが、拡げたものは当然、流速が遅くなって

● スライド25



● スライド26



しまいます。0.85倍。掃流力にすると2割減ですから、先ほどの理屈で言うと、やっぱり今度は土砂量を運ぶ量が半分ぐらいになってしまうかもしれないということです。本当に堆積しやすくなってしまいうんだなというイメージに繋がってくるということです。

今まで話をしたものを絵に描いてみるとこうなります。(スライド27) 横軸が流量を大きくしたら、ということで、Qから1.5Qにしたということです。それで流速がもとの川を黒のラインで描いておりますが、それに対して1にしたときにどれだけ早くなるかと。それで緑が抜げたパターンでして、当然同じQだと抜げた分で流速が遅くなってしまいますが、このときには同じになると。これは横に伸ばしているのは、氾濫したので流速が伸びないという形にしております。1.5倍流せないで、全部この元の断面だと氾濫してしまうので、同じ流速で書いているわけです。それで掘り下げてしまうと氾濫しなくなるので、どんどん早くなって行って、これまで経験しなかったような早い流速を経験するようになるといったような形で書いています。

それで、ごく単純に言ってしまうと、抜げたパターンはどちらかと言うと同じような中小出水が来るときには下がってしまったので、前よりはちょっと土砂を運ぶ量が少なくなってしまうなど。それで掘り下げたパターンは同じぐらい運んでくれるけど、いざ大きいものが来たときには、ちょっと今まで経験しなかったようなものが運ばれてしまうといったこ

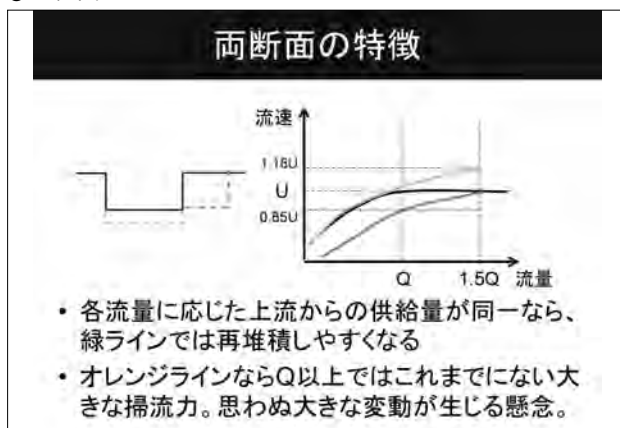
とで、安定性はどうなるのかなということについて、未知の力なのでちょっと心配になってしまうということです。洗掘はどうかということですね。

それを表にしたのがこれです。(スライド28) それでお互いにこことここが懸念事項になっておりまして、流速増大に対する懸念がこちらは強くて、こちらは年々着々と堆積してしまうんじゃないかということを中心に心配になるような川の方向に振れてくるんだといったことです。

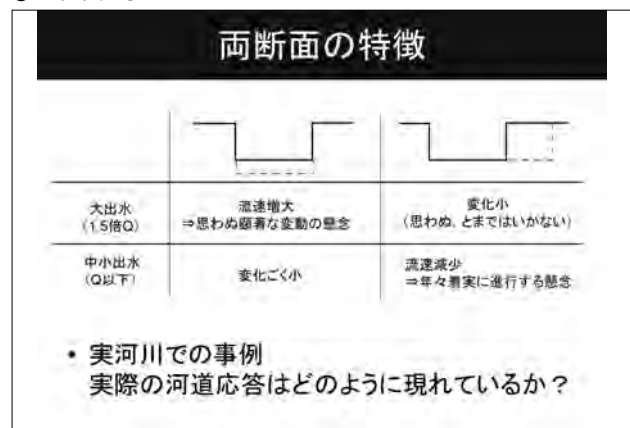
それがこの単断面でやりましたので、本当の河川ではそういうようなことが起こっているのということについて、簡単に調べた事例です。こちらは抜げた事例です。(スライド29、30) 河床縦断形状がどう変わったかということを中心にしていこうと思えますけれども、ここからこの区間を抜げた川の例です。それで「東海豪雨」と書いてあるから、中部地方の川ですね。それで平成14年に激特事業で抜げて、その後どうなっているかというようなことを見たものになっております。

これがその断面でして、こういう空中写真ですが、これは抜げる後の写真だったと思いますが、各箇所がこのように拡幅して流下能力を上げているということです。その5kのところがこのことでして、そこでもともとこれぐらいだった川幅をここまで抜げた。ちょっと2倍に近いかもしれませんが、先ほどの例で言ったような1.5倍程度抜げているような事例のものであります。それがその後どうなったかということです。

● スライド27



● スライド28





ももとはここでこう来て、それで河床高はここだというのが平成12年の絵なんです、その後ここまで上げたということです。それで、そのときの平成12年の平均河床高、低水路河床高はここで、掘削して上げたところの河床高はこのデコボコしている下の方のものです。その後、出水がありましてだんだんということで、平均河床高がぐっと上がってきてしまっているということです。ですから、やっぱり流送される量が減ってきてということが起こって、平均河床高が上昇しているという事例です。

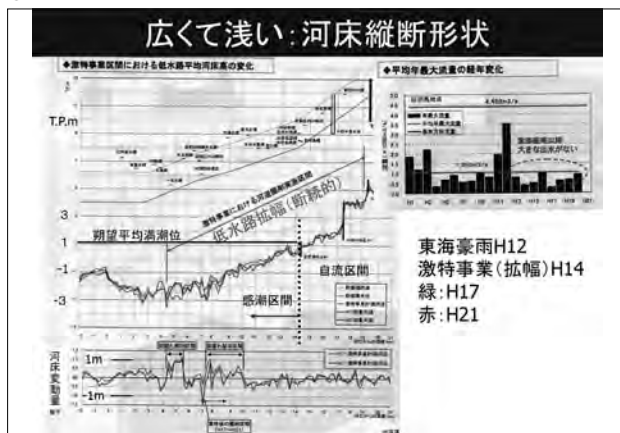
それで湾曲部ではということですが、ここの断面だと思います。これは掘削前で、こういった中州が発達している部分も掘削して上げたという例です。それでちょっと左右逆になって恐縮ですが、これが写真で言うところの部分です。上げたという部分です。それで、ももとはこの狭い河道でここまでギュッと深く掘れていたんですけども、掘げました

のでこの洗掘深がここまで緩和しているということです。これは1メモリが1mなので、3m強ぐらいは洗掘が和らいで楽になったということです。

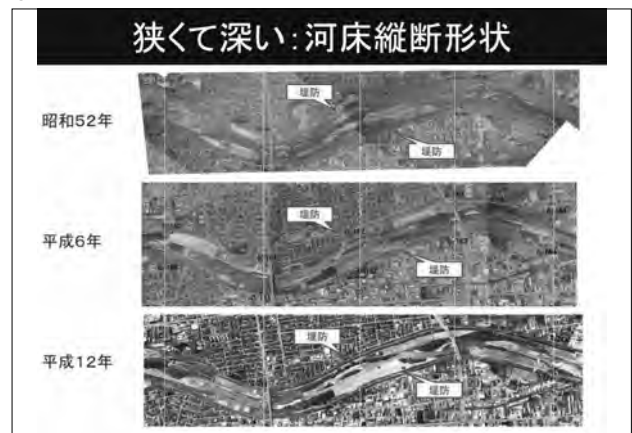
なので、大まかに見てしまうと、断面によってかもしれませんが、平均河床高が上がりやすいという維持管理上マイナスなことが起こりますが、洗掘深に対しては相当程度楽になってきているので、維持管理がしやすくなった河道として見るができると思って持ってきた例です。

では、狭い河道だということですが、なかなか河道を狭くするという事はないんですけども、唯一分かりやすい事例としてあったのがこれで、実際に狭くしたというものです。(スライド31、32)昔はこのように網状していたような川なんです、高水敷を造成して真ん中に押し止めたといったような川です。それでポンチ絵で描くとこうなりますが、昔は堤間幅いっぱいぐらいいろいろ砂州ができて

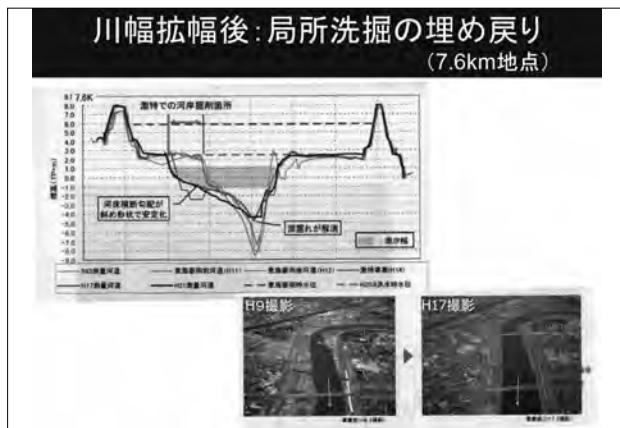
● スライド29



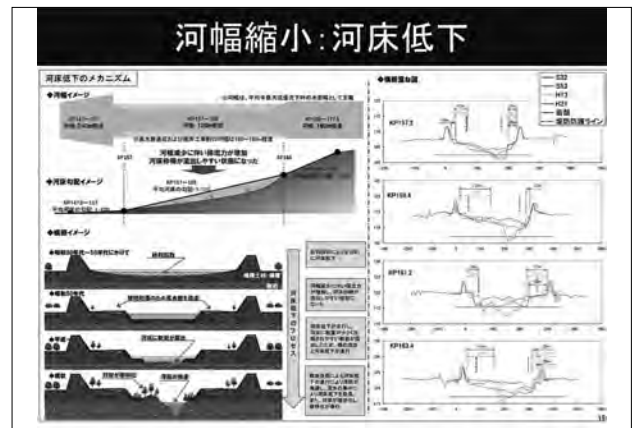
● スライド31



● スライド30



● スライド32





流れていたんですが、高水敷を造成しました。そうしたら河床が低下して、洗掘ということになっていますが、ちょっと特異なのが、この絵では色を変えています。上の部分のここまでが砂利です。その下が古い層で、難侵食性の軟岩みたいなものです。そこが石がぶつかったりしてどんどん掘り込んでしまっているといった形です。

これは実際の横断測量の図です。(スライド33) いろいろところで露岸している状態を見ながら大まかに判断したんですが、この線から下が軟岩のようなもの、上が砂礫だということです。それを横断面図に入れてみますと、昔は礫のところ河床高が取まっていたんですが、こういうところを狭めるとだんだんと河床低下してきて、今は軟岩に食い込んでしまっているということが起きているというように分かります。

それを拡大したのがこれで、昔はこの青いところでこういう形だったんですが、この青いところを高水敷を造ってグッと前に出してしまったんですね。そうしたら、このように掘り下がってしまったという例であります。それで砂利採取もちょっとしていたということで、それに拍車をかけてしまったんですが、やはりこういうことが起きているということです。それで、やはり狭めるとそれなりに流速が上がってきて、礫をいっぱい運ぶようになってしまっ、同じようなものであってもだんだんと河床が低下してしまうということです。これは縦断面形で

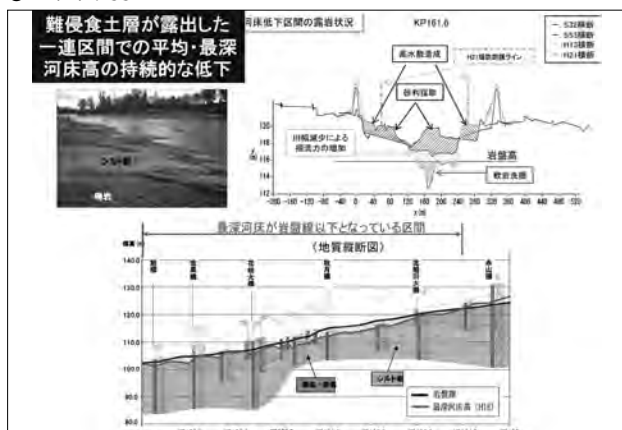
すが、ちょっと比べるのがいいのかわかりませんが、これぐらいの勾配だったところがだんだんと切り込んでしまったので、緩くなってきているなという感じで見ているといったようなことです。

それで、基本的にこういったことがありますので、大まかにですが、掘げるとということと、深くすることに対して、維持管理ということにどう反射してくるかということは、傾向としては単断面で考えたような見方で大まかに説明していいだろうということです。

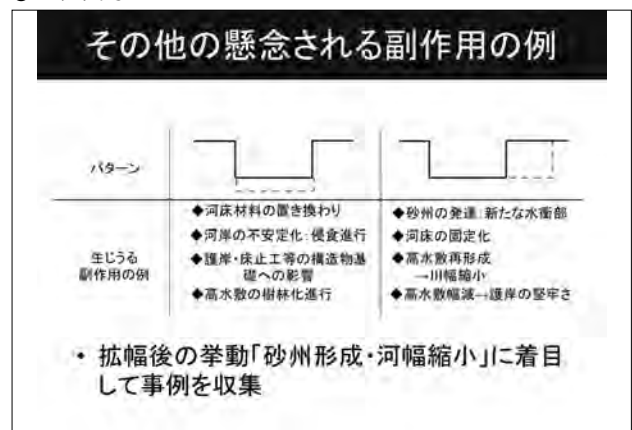
では、そのほかに懸念される副作用としては何があるのかということでもまとめたものです。(スライド34) それで、やっぱり掘り下げるとなりますと、「河床材料の置き換わり」と書いてありますが、先ほど見たような、礫の層がなくなって軟岩が露出することもありますし、川岸の高さが純粋に高くなっているの、場合によっては1回で崩れる量が大きくなってしまいます。またはあまり硬岩の角が当たっていると、それで不安定になってしまうことも心配しなければいけないんじゃないか、ということとか、いろいろあると。冠水頻度が下がってしまうので、木が生えてしまい、それで流下能力が、ということもあり得るんじゃないかということも書いてあります。

それで、掘げる方はどうかと言うと、やっぱり溜まってしまいうんですが、砂州が発達していった新たな水衝部ができてしまうようなことがあるように

● スライド33



● スライド34



す。これはちょっと後で取り上げます。それで高水敷がまた再形成されて、元の川幅に戻ってしまうということは何回も取り上げているので、もうよくご案内かと思います。条件が揃うとそういうことが起こってしまうということです。それで拡げ過ぎてしまうと、逆に石の河川だから動かなくなってしまうと、これは別の観点であまりよくない。特に環境の観点です。河床材料が動かなくなってしまうと、中小河川ではときどきありますが、そういうことです。

それで、こういう副作用についてもちょっと考えていかなければいけないということで、これを考えると先ほどの枠組みだけじゃなくて、もうちょっとこういうところまで突っ込んで考えなければいけないということなんです。特にこれについて調べてきましたというのが以降の事例です。(スライド35)

それで川幅が変化するパターンですが、簡単に言いますと、縮まってしまうというパターンがあります。よく小礫・砂の河床材料の区間では、出水で拡がる時もあるし、自分で掘削して拡げるときもあります。今は一緒に書いてしまっていますが、1回川幅を拡げても、ある程度の期間が過ぎるとまたキューツと狭まってしまう、ということがどうも起こっているよだということがかなりの川で見られるようになってきました。

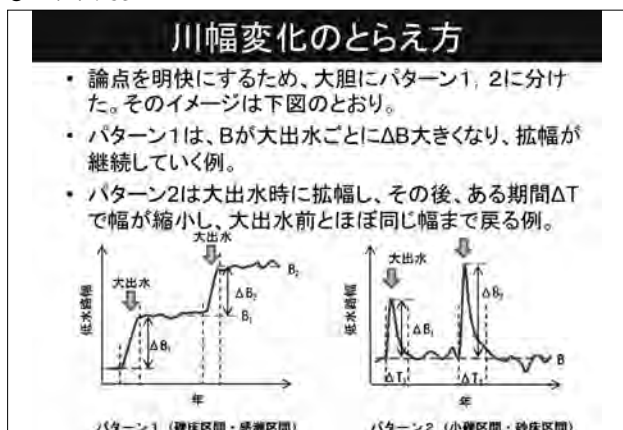
それで本当の「セグメント1」、急流河川だったら案外拡げたままなら拡げたままになるかなという

感じでも見えています。あまり河床低下が進行しなかったという場合ですが。それで感潮区間でも、先ほど一番最初に見てもらった拡げた例というのは、どちらかと言うとこの区間なんです。河床のアップダウンはあるが幅自体はあまり変わらないかなといったことで、こちらの方にしております。それで、こういう場所によって違うんですが、こちらのパターンならさっき言った副作用だということで、こういう川についてはかなり見ていかなければいけないかなということです。

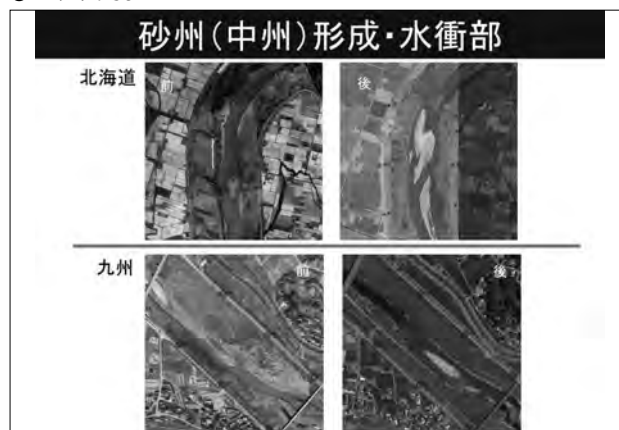
それで、ただ単に川幅が戻る、戻らないみたいな形で、ではいっぱい事例を集めようと思って、見ました。最近河川研究室には若い新規採用がようやく入って、純粋な目で見てください。こういうことを勉強しないから、「逆にとらわれないでよく見てね」と言ったら、「室長、ちょっと変わったのがあるんだ」と言って持ってきた例です。(スライド36)「北海道で、この狭い川をこっちに拡げたんですが、川幅が元に戻って、洲が発達してきてしまっています」と。それでよくよく見ると、高水敷幅がここからここまでであったのが、削れてかなり堤防まで近くなってきてしまっている。内岸側だったからでしょうか、「いいだろう」と思っていたんでしょうかね。だけど、かなり来てしまっていて、これは、「あらっ？」と。

こちらの九州の例も狭いところだったんですが、1回拡げたようですが、この辺は確かに高水敷が再形成されて元の川幅に戻っているんですが、何か中

● スライド35



● スライド36



州のようなものがポコッとできてしまって、ここはなかなか、こことここで幅を取るというなら元の川幅なんです、中州ができてしまったということです。

それで、どうもこういうところの横断測量を見ると、ピッタリうまいところに行っていると、何か洗掘が逆にこういうところの目の前でグッと掘れてしまっていて、まだまだこういった時代の方が護岸にとっては楽だったなみたいなことで、出ているということであって、なるほどこれはちょっとトレードオフがあるなということがありました。

こういうパターンもあるし、細長い中の島のようなもの、これは砂州と言うのかな、というものです。(スライド37) こちらが九州の例なんです、かなり狭いところで、これは無堤地区だったので、それで堤防を作りながら低水路も広げたら、真ん中にすごい長い島状のものがビューッと伸びてきてしまっている。

こちらの例もどうも、こっち側に広げたら、真ん中に随分長いものがビューッと出てきてしまって、ちょっと砂州でもないしな、という形になってきてよろしくないなと思っています。

ものの本を読みますと、同じ樹木が生えているものであったとしても、砂州であったとしても、早い流れと早い流れに挟まれていると、大規模平面図というのがあって、お互いに早い中に真ん中にちょっとあると、かなり流れの渦がお互いに増幅し合っ、大きくなって抵抗が増えるということが模型実験で

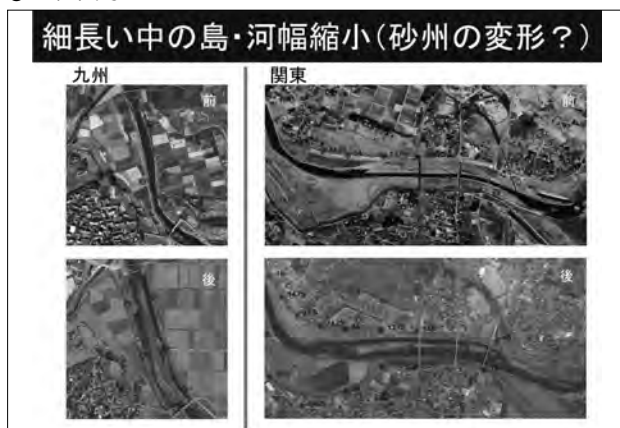
分かっていますので、同じ入り方だとしたら、それなら高水敷にビュッと入っていてくれた方がひょっとしたら流下能力としては楽になるのになど。そういう結果を見ながら思うと、こういう入り方って一番嫌だなと思ったということです。もちろん、堆積してしまったので、河積としても当初の狙ったとおりの値ではないということも含めてですが。

それで、これはおかしいな、どういうことなんだということで調べ出したのがこれです。これはやはり砂州なんじゃないかみたいな見方があったので、川幅を拡張したところの一番広がったところを横軸に、何mだということで、縦軸に平均年最大流量時の水深を取って、よく言われている川幅水深比でどれぐらいのところなら、ああいうような洲ができて、できないのかということ調べてたんですが、何かあまりよく分からなかったと。25分の1とか、12.5とか、けっこう小さい値でもできたというようなことがあって、なるほど、砂州がよくできるようなこういう大きい値のところはああいうことができやすく、という単純なことではなくて、狭くて広げるみたいなことでもひょっとして起きるのかなと思っています。

ただ、ちょっとある程度の傾向が見えたかなというのはこっちですが、ではこういうことが発生したものが起こったものについて、河床材料の粒経がどのぐらいだったかとか、河床勾配はどのぐらいだったかということ調べてみると、一生懸命に見んですが、大体1cmより大きいところしかない。小礫の河川から礫の河川のところしかなくて、砂の河川では起こりにくいかなというところぐらいまでは分かってきました。逆にあまり大きい粒経になると、GSもちょっと減ってきているかなという感じがしております、ひょっとするとあまり大き過ぎてもということなのかなと、ちょっと分からないなということで今見ているところです。この辺が何かやたら多いように見えたので。

それで、こういうことで今は探しながら、本当に川幅を広げるというのはさっきの見方だけでいいの

● スライド37



か、やっぱりこういうことも入れると洗掘との兼ね合いとしていいのかということで、ここはちょっと決着つけなければいけないということで今悩んでいるところであります。

それで、そういう技術的なものも解決していくとして、「見方としてはこういうことで行くか」ということです。(スライド38)

狭くて深い川と広くて浅い川、で行くと3つの観点があります。1つは各断面の特徴・副作用、重い課題はどっち？ つまり堆積し過ぎて困るのか、洗掘が深過ぎて困るのか、どっちにつけた方がいいのかということです。

それで、あと2つは、どちらに向かうのかということと、それでもなお残る課題に対処できるか、ということです。現況がここだとしたら、こっちが深くて洗掘に困っているなら、では掘上げて浅くした方が得だし、逆にここら辺にあるような○だとして、これ以上掘げるともっと苦勞するから、やっぱり深くした方がいいんじゃないかみたいなことを考えるというような見方をしていこうということを書いたつもりです。ですので、比較的情報量の多い現況河道を軸に、どっちにずらすとどっちの問題が解消して、どっちが顕在化するかということの評価してやっっていこうという形を描くのかなと思っている次第です。

それで、大出水に対する安全性としては、こっち側のもの、洗掘で困っているんですということにつ

いては広くしましようという話です。(スライド39)

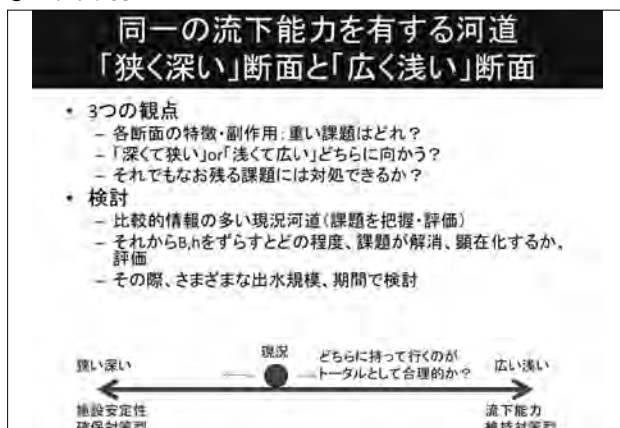
堆積しすぎて困っているんですということなら、なおさら掘げないでちょっとこっちに向いておこうかというような試行でいくのかなということでやっっていくのかなということを書いております。(スライド40)

それで、ここまでが川幅のことだったんですが、ではちょっと縦断形のことを入れていこうということです。それは掘削量がどうなるかということに着目してやっっていこうということです。(スライド41~43)

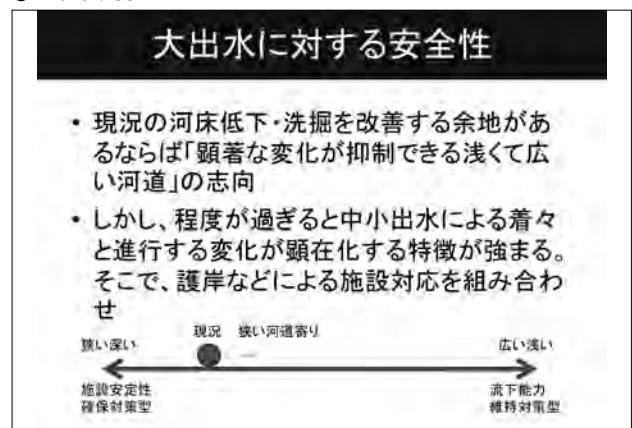
これは昨年度にやらせてもらったものをもう1回焼き直して、ちょっと考えてきたというものです。それで年々の変動を均して、中長期的な河床変動の傾向をマクロに捉える見方でありまして、経年変化を毎年同じように、徐々に変化するような形で捉えるという、簡単な見方をしています。それで溜まったところは流下能力が不足するので、維持掘削によって全量掘削を行うという考えにピッタリの河道になっていて、ちょっと溜まったところは毎年掘りましようみたいな、分かりやすいやり方で物事を考えています。

それで、これは昨年も使ったものですが、基本パターンで、今この河道がいい川幅になっていて、上流から来た供給量と運ぶ量が長期的に見合っていて、そういう川の場合にはこの勾配の変化点でどうしても堆積してしまっ、これを除去するというこ

● スライド38



● スライド39



とで維持管理がグルグル回るといことですね。

では、これを先ほど見たような深くするパターンと浅くするパターンでどうなるかということ考えたのがこれです、それで深くするパターンですと、単純に考えてしまうと、この低水路の中で流れるようなパターンを考えているというようなこととなりますが、ここに溜まることはあまり変わらなくて、下流に溜まるということは上とほぼ同じだろうというように見ております。

では掘げるパターンはというと、もう掘げてしまうと先ほど見たように、土砂量を運ぶ量が減りますので、上流から来た量を全部運べないので、その分がここにグッと溜まってしまいます。そのかわりに、ここでちょっとしか運べなくなった量がこっちに運ばれて、ここにちょっと溜まると。それでうまく掘げてやると、全部その量を足すと、実は掘削量としては変わらないんですが、溜まる場所だけが変わってくるだろうということになります。

そうすると、量は変わらないんだと。ただ、溜まる場所が変わってくるんだらうと。これはどういう意味なんだらうと考えると、河幅による流下能力増加分を削る形で堆積してしまう場所を下流にいっぱい持たせておくのか、いや、上流に分担して持たせるのかということなんですね。例えば、ここから下がすごく市街地が集中していて、ここはあまり河床はトントントン上がってほしくない。たぶん、大出水が来たときにグッと上がってしまうとい

うのも同じような性質でしょうと。そうすると、「ここはかなり維持管理しやすくしておきたいんだけど、堆積量を減らしたいんだけど」と思ったときに、こういうやり方をすると上が分担してくれるかもしれないということで、そういう上下流の分担の変化ということが出てくるでしょうといったことです。それで、この下線のところが重要なんですが、今言ったように下流端周辺での堆積は基本パターンより小さくなる。それでリスクマネジメントと河道管理の接合点として、ではそれで堆積がどんどんして維持管理をちゃんとしないと、その場所はあまり氾濫させたくないと思った場合には、そういうことで上流に転嫁するというやり方ができるということで、そこにちょっと接合点がだんだん見えてきたかなということになります。

しかし今、全幅セグメントを掘げるということは、よほどの一発でやる事業でない限りやれないので、一部分だけやるということが多いそうなので、その場合にさっきのようなポンチ絵を作ってみようということです。その準備として、ではそういうことをやったら実際に河道がどう応答するのかということで、現地の例で説明しようということです。

それで掘幅したら、その直上流で河床が低下してしまったという事例です。あっちが下流で、こっちが上流で、こういう四角に区切ったこの区間だけ部分的に掘幅しているということです。ここからこの区間だと、この下流の分が、ここからここは集中的

● スライド40

**中小出水による変化への対策  
中長期的な維持管理**

- 河積維持に改善の余地がある場合には「深くして狭い河道」の志向(掘り込む:高水敷造成を必ずしも意味しない)
- しかし、程度が過ぎると大出水時の河床変動が顕在化する特徴が強まる。そこで、維持掘削や伐採などによる対応を組み合わせ

狭い深い ← 現況 → 広い浅い  
施設安定性 確保対策型      流下能力 維持対策型

● スライド41

**川幅と河床縦断形の関係  
一連区間の平均河床高変動と掘削量に着目して**

- 以下、下記の簡略化のもとで議論。
- 年々の変動を均して中長期的な河床変動傾向をマクロに捉える見方
- 堆積箇所でのみ所定の流下能力から不足、維持掘削による全量除去を行う、を前提
- (より実際に近づけて考えるには、時々出水規模による河床上昇・下降の変動や、河床変動に伴う川幅変化を加味する必要あり→川幅変化については注)書きで補足する)

に掘れて、ここだけ狭くしていると。それがこのように、ちょっと断続的になるということですね。なので、正確に言うと断続的にしているのですがその影響も入っていますが、ごく単純に言ってしまうとそういう効果が入りにくい一番上流端のもので、この下を拡げて上流側がどうなるかというように見たパターンですが、この「6.4」というところをこういう形に拡げたんですね。それで、この上はあまり変わらない、そのままにしたんですね。そうすると上流側の河床がこのようにピュッと下がってしまったと。下流の流下能力が上がったので、同じ流量が来たときにこっちの水位が下がってしまう。しかし、この断面は同じ断面ですから、もともとの水位に追従しようとするので、水面勾配がピュッとついてしまうので、それで下流に向かって流速が増えてしまい、その流速が増えた分この土砂が持って行かれて河床低下してしまうということが起こるということですね。

これも同じような図面だということで、ちょっと下の方でも起こっていますよということで、言いたいことは同じです。

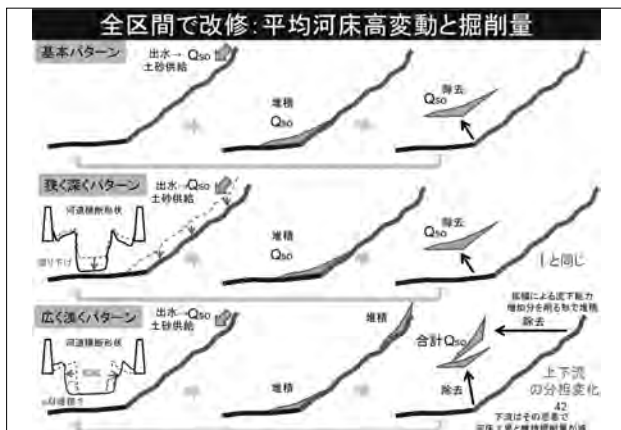
では、下流側はどうなんだと。拡幅した後の下流側はどうかということ、昔ちょっとシミュレーションをしたというものを持って来ました。このようにだんだんと昔平らだったところが、この部分だけ河床が低下してきてしまって、ここは木がぼろぼろになったということで、ではここをグッと拡

げて元の河原を復活させてやりましょうということを検討したときのものです。その掘削の場所がここだということでやった場合に、当然ここに土砂が溜まることを皆さんは予想されるかと思いますが、下流にどういう影響が出るのかということをやっと簡単な数値計算でやったという例です。

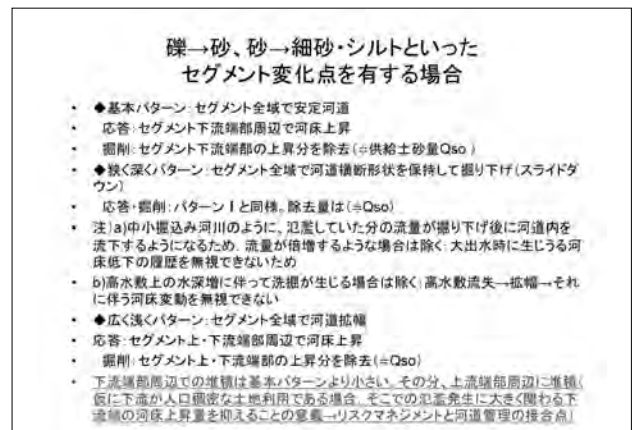
ここが縦断形で、この区間をこういう形で拡幅しましたということ。それで、ずっと1日に一定流量を流していくという、単純な計算をしたんです。そうすると案の定、ここに溜まってしまいうんですが、溜まった分だけ上流から来た量がここでカットされますので、下流に行く量が減る。そうすると、元の川幅ですから、その分が減ってしまうと河床が低下してしまうということが計算上出てきて、ということで、若干の低下量ですが、こういうことが実際に起こるんだということを計算したということ。ですから、単純に言ってしまうと、拡げてしまうと、拡げる区間の長さによりますが、全部すべからく上げると言われると、上流が下がることもあります。その溜まった量のお陰で下流が下がることがあります、ということでもよろしいかと思えます。

では、そういう基本的なものの見方をしたときに、ではずっとそれを掘削し続けたら最初の段階から、途中段階を経て、最終段階までどうなっていくかというのを描いたものです。(スライド44、45) それでこう拡幅しましたと。そうするとさっきの計算み

● スライド42



● スライド43



たいに、ここにグッと溜まる。それで上流が引っ込んで河床が低下してしまうんだなと。それでやっぱり下流も低下してしまうんだなと。それで掘削だと。そうすると、このときに土砂量としてはもともと  $Q_{s0}$  だけ入っていたんですが、ここは河床が元の幅なので同じだけ堆積してしまって、この堆積量の分だけ増えてしまうので、全体としては掘削量が増えてしまうという時期が初期の段階。

それでだんだん河床低下が進んでくると、こっこの量がだんだん堆積量が勾配が緩くなった分だけ運ばれる量が減ってくるので、だんだんと減ってくる。ここもだんだんと河床低下してくると、この急勾配で運ばれてくる河床が低下した分が突っ込んでくると言われているので、だんだんと減ってくるということが起こりまして、これよりは小さくなっていく。それでずっとやっていると、ここが河床低下をどんどんしてきてしまって、ある程度まで緩くなってくると元と同じ量の掘削だけで済むようになって、こういう形でバランスします。すごく単純に書いてしまいましたが、上流は河床低下が進んで河床マイナスがあって、こっちは勾配が緩くなって、ここはあまり変わらないと。そうすると、でき上がった河道で見ると、ここの流下能力が河床が低下した分、たぶん上がってしまったんだらうなと。このつけ根に近いところは、河床勾配が緩くなった分をちょっと考えなければいけないかもしれないけど、ほとんど変わらないか、その程度だということになると、

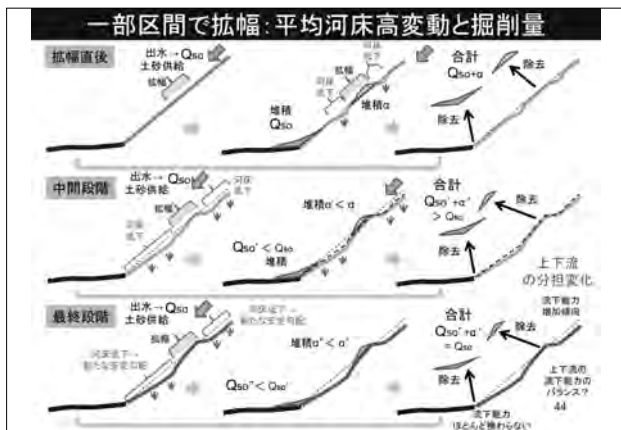
これは「直接上流を掘ったつもりはないんだけど、何か上下流バランスで下の方が流下能力が変わらないまま上を増やしてしまった」というようなことが最終的に起こり得るということですね。

そうすると、ここが重要なんですが、セグメント全区間の拡幅との相違ということで、拡幅区間の上下流河道の流下能力に差異を生んでしまう可能性がある。そうすると、こういう設計をしてしまうとリスクマネジメントとしていいのかなということを考えていけばいけないということで、維持管理と河道設計が繋がってくるというものです。

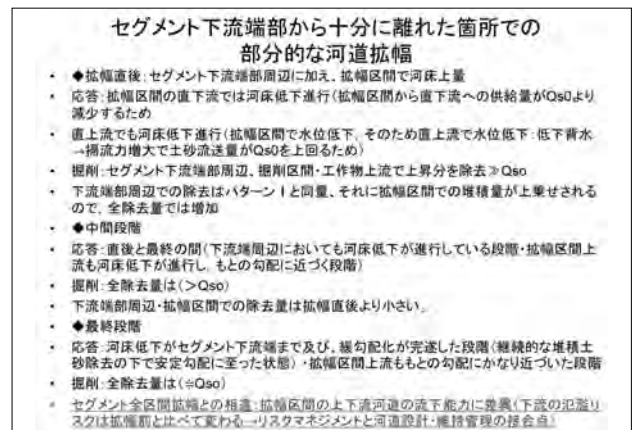
それで、総合土砂管理と繋げていくポイントですが、まず、なるほどこのように川を変えてきましたが、川幅の設定の仕方を、維持掘削の重点区間をコントロールし得る技術として見直した方がいいんじゃないかということです。(スライド46)

やっぱり下流のああいいうセグメントの切りかえのところで、そこに資産が集中しているということを考えて、ここで堆積して氾濫したくないところの目の前で維持管理をし続けるのがいいのかなと。もうちょっとやりやすいところでやれるようなことを考えた方がいいんじゃないかなということを出すと、維持管理の仕方、河道設計の仕方とリスクコントロールがだんだん繋がっていくという意味です。そういうことで、どうコントロールするかということであるし、維持管理として一時的に増加する掘削量への対処をどうするか。一部拡幅すると、そ

● スライド44



● スライド45





ういったいいこともあるんだけど、みたいなことですね。

それで、こういうものを考えて上記要件が河道区間で目指すべき土砂管理となり得るかということが答えが出ると、なるほど単に横断形で「拡げた方がいい、狭めた方がいい」と言うだけよりは、もうちょっと厚みが出てきて、土砂をどこに溜めて、どこで掘削するかというコントロールの技術として河道の川幅の設定もあり得るんじゃないかといったことについて見ていくべきではないか、それで、なおこのように増えてしまう土砂量に対しては、総合土砂で対応できるか、ということで、ようやく初めて総合土砂との受け渡しができる。自分たちの河道をどこで溜めて、どこが掘りたいかということを設定しないままに、いきなり総合土砂管理、総合土砂管理と言っても何も繋がらないということですね。俺たちはこれぐらいの掘削量で、ここで対処したいんだけど、それはできる？というように返さないと、たぶん繋がってこないといったことが重要で、そこが繋げていくポイントだと。これがたぶんできていない。それで、できるようにすべきで「考え中」だということです。

それともう1つがリスクの観点です。(スライド47)

被害の生じ方をコントロールする道具としてリスク評価を作っています。H.W.L.を超える出水、大規模出水があったときに、どこが氾濫するかで生じ得る全パターンが評価対象と書いてありますが、もう

H.W.L.を超えたら堤防はどこで切れてもおかしくないから、ではどこが切れるかということは決めつけずに、どこで切れてもおかしくないということで、では切れるパターン全部を評価しましょうというやり方をとっています。その中で何個もパターンが出てきますので、最大被害となるパターンへの対策について明示的に検討できるようになります。

そういうやり方で「リスクコントロールの仕方の有力案」と書いてありますが、河道改修をしたときに、改修後の河道がリスクを現況よりも大きくしないという、当たり前のことをやろうと。これはどういうことかと言うと、これは現況河道で例えば流下能力の向上を、ある理由があって、やっぱり下流の方がまず実力があり、上流の方はあまり実力を持っていない中で、「よし今度、河道を整備しよう、それで下流はいっぱい持っているから、では上流だけ一生懸命に整備しよう」とやると、当然上流を一生懸命に守りたいとなると、これまでになかった流量が下流に流れるということが起こり得るということです。そうすると、こういう河道に作り変えたときに、この状態で来たときの超過洪水と比べると、ということでイメージ的に書いたのがこれです。

縦軸が被害規模でして、横軸が流量規模です。当然、被害の出やすさは、上流の流下能力をグッと上げたので、何もしていないときに比べて改修をすると小さくなります。当然、被害が出にくくなるんですが、しかしかなり大きな洪水が出て、いよいよ流

● スライド46

**総合土砂管理と繋げていくポイント**  
河道区間での土砂管理→流域全体へ受け渡し

- 「広く浅い」「狭く深い」「一部拡幅」：河道縦断形状の応答(河床上昇区間)は異なる
- 河幅設定：維持掘削の重点対象区間をコントロールする技術として捉えなおす...
- どうコントロールする？
  - 氾濫リスクの観点
    - 河床変動を抑えるべき河道区間
    - 重点対象区間とする河道区間
    - そうした改修・維持管理によってリスクを現況より増加させない
  - 維持管理
    - 一時的に増加する掘削量への対処
    - 総合土砂管理での対応案 など
- 上記要件が河道区間で目指すべき土砂管理となりうるか？ <考え中>

● スライド47

**超過洪水検討ツール(被害の生じ方をコントロールする道具)としてのリスク評価**

◆ツールとしての要件  
 ・HWLを超える出水→どこが氾濫？→生じうる全パターンが評価対象  
 ・最大被害となるパターンへの対策について明示的に検討できる  
 ・どの氾濫ブロックでもリスク低減に繋がる対策(河道整備等)が評価できる

→ リスクコントロールの仕方の有力案  
 現況より、リスク(最大・平均とも)を大きくしない。

流下能力図: 縦軸は流下能力 Q (m³/s)、横軸は横断距離 (河口から上流)。上流側で流下能力が低下する領域を示している。

リスク図: 縦軸は被害規模、横軸は流量規模(確率年)。複数の曲線が示され、リスクを低減させる方向に矢印が示されている。



下能力を超えるような規模の洪水になってくると、下流で切れてしまう流量規模が大きくなってしまいますので、氾濫量が増えてしまうかもしれない。そうすると、平均の被害規模は小さくなりますが、副作用として最大値はむしろ大きくなってしまふんじゃないかということが起こり得るということですね。そうすると、ではグッと上げるとすると、ある一定程度下流の流下能力も一緒にグッと上げないとリスク低減が目指せないねということですね。

今までこの効果は非常に重要だということで一生懸命に見ていたわけですが、やはり全体を作って大きい洪水が来たときも、やっぱり被害が増えていないということが重要だろうということをお断り考えると、こっちの方も意識的になって被害の低減に努めなければいけないということで、本来のこっちに戻すような、例えば単純に考えると、こっちをグッと上げるようなことをやろうということですね。

それで実際にこういうやり方で計算してみたという例です。(スライド48)

こちらが上流側で、下流側で、下流側に資産が集中しているような川です。それで、先ほど言ったもので、例えばH.W.L.だったら、ここから下なら破堤することはないとしますが、天端を超えたら絶対に破堤するだろうと。この間はある、なしは両方あり得るので、両方ともやりましょうと。それを今後ブロック (BL) で当てはめていくと、全部ここに入る

という単純なパターンで考えると、「ブロック5」です。・しない、「ブロック4」です。・しない、「ブロック3」です。・しない……とやると32通りあって、その32通りを計算しようと。すると32通りの被害が出てきて、その最大値とか平均値を書いてみようというようなことをやったということですね。

それで描いた例がこれですね。(スライド49)

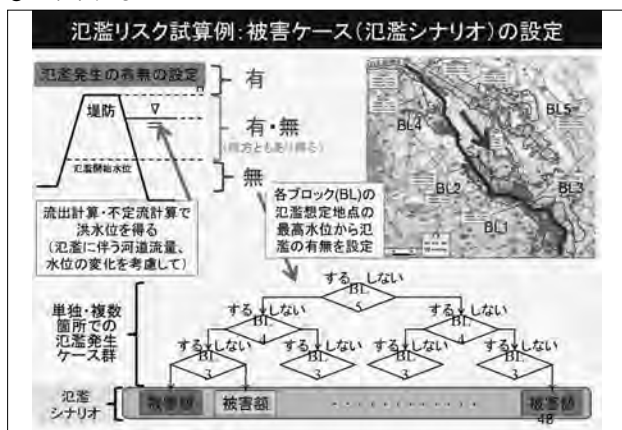
ケース最大だと、ここまでグッと増えてしまふんですね。これは確率規模をグッと来て、流量を大きくしているんですね。それで平均値もグッと来ています。このときはまだ運よく天端を超える水位まで行かなかったの、すごく運がよければ被害ゼロになってしまう場合もあるということです。これは川によって違うわけです。

では、仮想的に河道の条件を変えた、一番上の上流ブロックだけ、先行して堤防を強化して、流下能力を上げてしまった場合です。(スライド50)

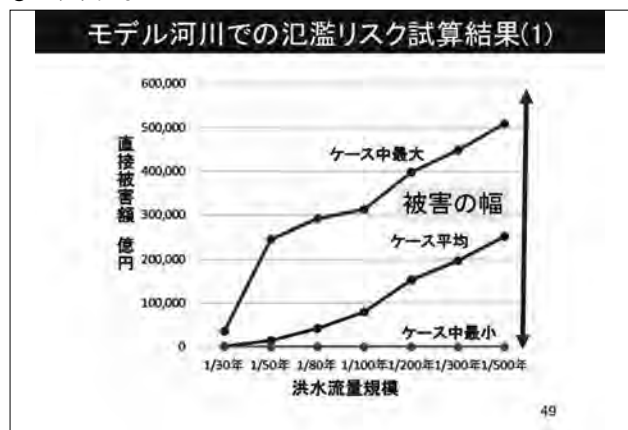
すると、この被害の最大値のところ、かさ上げ前だったらここで済んでいたんだけど、かさ上げ後だとちょっと増えてしまうということが素直に出てくる。それで平均値で見ても、やっぱりちょっと増えてしまう。ただ、最低値で見るとかさ上げ後は減少しているということで、ちょっと応答が違うということを示したものです。

それで、これをこういう計算の仕方で行って、どこまで上流側の流下能力を上げたかったら、こうならないようにするために他の代替措置で下流

● スライド48



● スライド49



側に流量を持って行くかということ、河道の設計に入れていこうと。先ほどの掘削する場所をどこにするかと、それで将来的な河床変動も考えたときに、いつも小さくなるようにしようというようなことを考えているわけです。

それでやってみた実践例です。これはさっき言ったように、これは流下能力図みたいなものでして、これがH.W.L.です。それで赤が現況だったかな。それで、かなりH.W.L.を超えてしまうぐらい水位が高くなるのが上流区間にあって、それで下流はそれ相当の流下能力を持っているという川の状態です。それで、いよいよここまで整備が進んできたので、上流側の超えてしまうところを流下能力を上げようということで、ここまで下げる。これはちょっと超過洪水を与えていますので、H.W.L.を超えている絵になっていますが、これだけ下げるような改修をしたんだということです。してしまうと、ここは山合いの川の区間でして、10kから下は扇状地がバツと開けるような川なんです、山合いのところを抜けてしまうと、やはりそれなりに氾濫して流量が増えてしまうと、バツと増えてしまうようなことが起こったんですね。

では、その分をちょっと吸収しようということで、わざわざここから10k下、ちょっとマニアックなんです、流下能力としてはちょっとほぼ満足していたんですが、特段抜けなくてもいいということになっていたんですが、あえてこの出口のところを掘

削して、もうちょっと流下能力をアップさせようということをしてしました。そうすると、ここで増えた分の流量がここでキャンセルできて、ここから氾濫しなくなるということが起こったという、そういう例です。これが現況河川の場合で、超過洪水みたいなものが来ると、扇状地のつけ根のようなところでバツと氾濫して、特にこの右岸側が市街地が発達して、ここが浸かるとすごい被害が出るという川だったんですが、こういう形で出てしまうところが、ちょっと上流のところを掘削してやるとこれぐらいの差が出てくるということで、さっきのようなリスクの図を描くところになった、ということです。

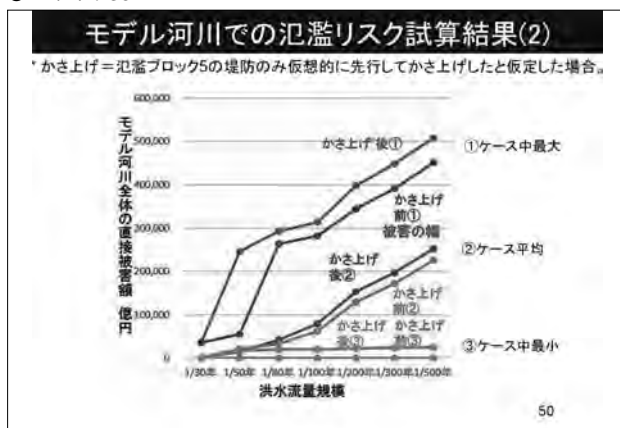
何もしないと、わずかですけれども、これはちょっと後で凡例はいちいち説明はしませんが、現況に比べて上流だけ掘削するとちょっとだけリスクが増えてしまうという悪いことが起こっていたんですが、さっきのところを掘削することでこの青線のようにガツと下がってくるということをやったという例です。それで、こういうことについて一生懸命にやっ

ていこうということを思っています。かなり難しいことを言いました。縦断形の溜める場所をどうコントロールするかということを経合土砂としてしっかりと考え、それが結果がどうリスクをコントロールすることになるかということを考えて河道の維持管理を考えるという、かなりハイレベルなことを言ってしまうと、難しいことなんですけれども、しかしそこまで考えないとなぜ維持管理をやっているかという旨味が出てこないなところなんです。何のためにやっているのかというのが分かってなかったんで、あえてそこに突っ込んで考えたということがここまででした。

それで、ここはもうちょっと早く話をするつもりだったんですが、丁寧に話しすぎてもう質疑応答の時間になったんですけど、すみません、5分か10分ぐらいいただいて後のことをちょっと話をさせてください。

それで、あとはあまり、さっきのようにうまく繋がっておりません。さっきのうまく繋がっていない

● スライド50



いと言われるとそうかもしれませんが、もっと繋がっていません。ここは情報発信というところですね。実際に維持管理をどれくらい我々が頑張ってきた、どういうくらい河道の流下能力を維持管理するのに役立ってきたかということ、実績値でちょっと言えないかということでまとめたものです。(スライド51)

昭和40年代ぐらいから横断測量をやっていますので、その時代の全国の横断測量を全部集めて、それで「期間1」というのは、全国全部きれいに揃った横断測量が、昭和50年代の半ばぐらいだったと思いますが、そこぐらいから平成の最近までという期間で、その間河積がどう変化してきたかというのをまとめたのが期間1です。それで最近、砂利採取が止んでしまった期間だけを対象にして、もう砂利採取に頼っていないと言うとおかしいんですが、維持掘削、または河道改修で頑張って河積を大きくしている比重が非常に大きくなった時代ということで、平成の一桁台から最近ぐらいまでということで、ちょっと比べてみたということです。

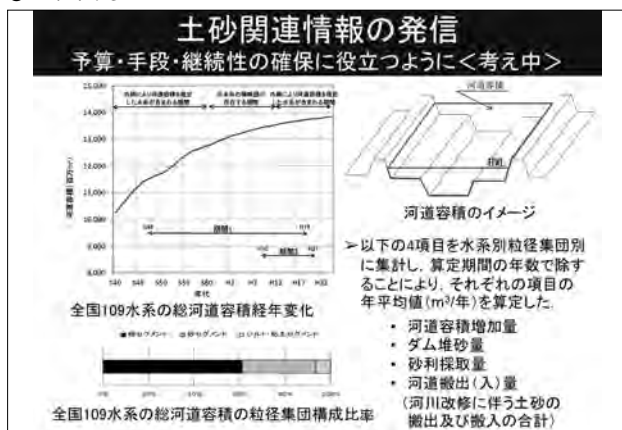
なので、この期間1は相当程度、砂利採取をやってくれたお陰で、河積が伸びている。この縦軸がその河積のようなものをあらわしておまして、全国で集計した値です。これは全国の河川のこういうH.W.L.以下でちょん切った容積を全部足し合わせた量です。ですから、河道を掘削していくと、だんだんとこの断面が増えていくので、長さ、管理区間と

して河道の延長は変わらないので、この断面が増えたことでこれだけグッと増えてきたということですね。当然、砂利採取に一生懸命に頑張っている時代は、その恩恵もあってグッといい角度で伸びているんですが、だんだんそういったことを禁止していくと、この勾配が緩くなってきているという絵です。

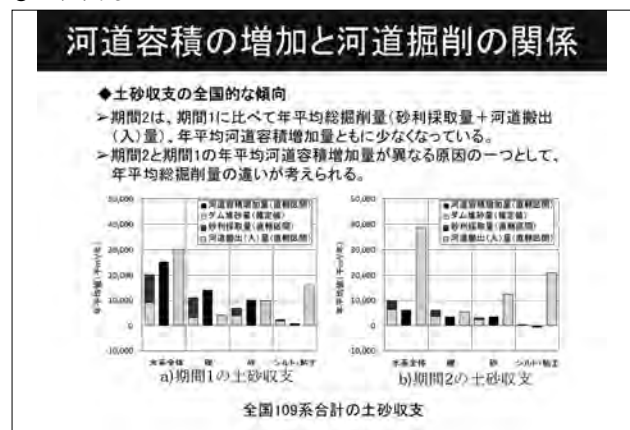
それで、そういった河積の変化に加えて、ではダムにどれだけ溜まっているのかということだったり、実際に砂利採取というのはどれぐらいやっていたのかということとか、河道改修でどれだけ持ち出したのか、場合によってはさっきのように高水敷を造成して入れたということがあるので、その入れた量は入れた量でカウントして、この傾きがどれによる影響が一番大きいのかということ調べたということですね。(スライド52)

それで「期間1」と「期間2」に分けたんですが、単純に言ってしまうと、黒い棒グラフがさっきの絵で見た、直轄区間でこの期間にこれだけ容量が増えましたという部分で、その期間に砂利採取したのがその左の棒グラフの上の部分でして、改修で頑張ったというのがその下の部分です。これらと比べると、実際に増えた量に対して掘削はどれだけ頑張ったかという話になります。その期間にダムにどれだけ溜まったかという量がこの右の棒グラフです。これを全水系で見たものと、礫、砂、シルト粘土に分けて見たというのがこれです。全体で言うとこんな感じなんですが、礫と砂に分けて見ると、「なるほど、

● スライド51



● スライド52





均で見ると、0.数%ですが、増える方向に全体としてはなっているというのが掘削を頑張っている時代です。しかし、もしその掘削を止めてしまって、その分も堆積するよということ体積量にそれを入れてしまうとやっぱりマイナスの方向に転じてしまって、堆積傾向が強くなるといったような結果が出ました。

つまり、もし今、全掘削量を止めてしまうと河積がどんどん縮まってしまうという結果が出てきて、全国的にまだまだ頑張っていないと、堆積が勝ってしまって、過去の資産で砂利採取等で大きくしていた河道の容積がむしろマイナスに転じてしまって、頭がこうなってしまうということから、これからは傾きをどう維持していくか、どうしていくかということについて意識的になっていかなければいけないということであえて言うとしたら、こういうようなもの、またはごく単純に行けば、この傾きを何%

にしておくかというぐらいのものを全体として持って、それで各河川で頑張るし、ひょっとするとマネジメントする人はこの角度を見て、「ちょっと進捗が悪い、もっと頑張らなければいけない」ということに対して予算の措置等々とか、そういうことについて考えていく。または個々の河川の工夫について考えていくといったようなことについて、意識的になっていくことについて使えていければなといったことで「考え中」ということです。

すみません、本当は最後に「環境との繋がり」ということで、ちょっと詳しくやろうと思っていたんですが、もう説明する時間がないのでごく単純に言ってしまいます(スライド55~58)。実は直轄では環境はうまく維持管理はできていません。どこに重点的に守るべき保全箇所があるかということ、地図にしっかり書くということから始めなければいけないというぐらいのレベルだなと思っていま

● スライド55

### 環境との繋がり

- ・「環境目標」:現状の技術水準に照らし合わせて設定可能か?
  - 目標としての明確さ
  - それを実現するための監視・手当の実効性
- ・それに換わる考え方<現状の技術基準を冷徹に見て>
  - 「現況の環境を保全するとともに、出来る限り向上させる」という「基本的な方針」
  - 相対的に良好な環境を有する場を「良好な場」として設定し保全する一方、他の場は「良好な場」を参照して出来るだけ環境を向上させる
    - ・ 目指すべき目標像を持たないため、それに換わる判断の拠り所
    - ・ 分析評価判断が現場をモニタリングしながら検討する段階である
- ・なにをすべきか
  - 状態を把握・評価する手法の設定
    - ・ 河川改修を行っていく上で、特に配慮が求められる重要箇所の特定できることにつながる
    - ・ 河川管理者が管理の仕事として「面白み」を感じて技術が向上することにもつながり、自己研鑽の面からも好ましい
  - たたき台を作成しては、タイプの異なる複数の河川において試行し、改良を加えていくという繰り返しのプロセスを経て、技術の熟度と汎用性を上げていく。選抜して通れないプロセスであり、正面から取り組むことが不可欠
    - ・ このプロセスを継続していくためには、それを支える情報整理・編集の努力を軽減することが重要
    - ・ データベース→環境管理に必要な基本的な図表を提供する情報化支援システムへ

● スライド57

### ◆環境管理の具体的方策の検討

(1) リファレンスとしての「良好な場」の設定

- ・ 河川管理者自身が環境を体感できるように、具体の場を定めて保全する「対象」を明確にし、検討すべき評価軸を絞り、環境の向上を目指す。
- ・ 相対的に良好な環境を有する場を「良好な場」として設定し保全する一方、他の場は「良好な場」を参照して出来るだけ環境を向上させる方法を提案する。
- ・ 良好な場は小セグメント程度の離断的な河川区分毎に1か所設定
- ・ 区分を代表する典型的かつ良好な環境として設定
- ・ 設定検討データは生息場を中心に、水域、水際域、陸域を整理
- ・ 設定単位は1kmとする

(2) 「良好な場」を活用した環境管理

- ・ 「良好な場」を設定し、河川管理者は分析評価結果と現地を見ながら「基本的な方針」に基づいて「良好な場」を「保全する」とともに、その他の地点は「良好な場」を参照して、環境を「出来る限り向上させる」ように管理を実施(下図参照)
- ・ 対策実施後は、分析評価に用いた指標を活用してモニタリング
- ・ 効果を把握しながら、次の対策を実施

● スライド56

### ◆環境目標型の類型

□ 環境目標の特徴

- ・ ある程度共通のイメージは存在し、包含するイメージの共有は可
- ・ 現場での具体的な管理に結びつける具体像を描くことが困難
- ・ 環境目標の設定と分析評価は相互に関連した技術体系
- ・ 環境目標の全体性と分析評価の難易度はトレードオフ

(1)「将来の目標」設定型  
 (2)「当面の目標」設定型  
 (3) 象徴型  
 (4) アセス型

(2)-(3)は共通して「対象」と「手法」が明確、  
 (1)は「対象」と「手法」のいずれか、または両方が欠けている半面、「方針」は明確  
 (4)は事業により影響の軽減が基本

### ◆基本的な方針に基づく環境管理

□ 基本方針「現況の環境を保全するとともに、出来る限り向上させる」

- ・ 環境目標を設定せずに、上記の方針を「基本的な方針」とすれば、大方の同意が得られ、全河川に共通して適用できる。
- ・ 課題は、全体性の高い「将来の目標」が後付けになり、事業の進展を踏まえ随時変更される余地があること

● スライド58

### ◆継続的技術の向上 —情報支援システムの活用—

□ 環境管理の醍醐味を味わいながら河川管理者の技術力を向上させていくことが肝要

- ・ 河川の環境管理技術は未熟であり、継続して技術を向上させるための場の整備が必要
- ・ 河川環境は多様であり、汎用性向上に多くの実績が必要。ゆえに状態把握・分析評価に利用する大量のデータを効率的に処理することが重要
- ・ 生息場データや河道特性データを収録し、環境管理に必要な情報を整理・編集するデータベースシステムを構築中
- ・ 「基本的な方針」に従って管理された河川データや改善対策の効果を蓄積、分析により、知見を高め、継続的に技術を向上させる。
- ・ 合わせて「良好な場」や環境改善を実施した個所の定期観測を通じて河川管理の実践を強化し、現場の技術力を向上させる。

す。(スライド55)

卓近な例を出しますと、河道改修のために、または維持管理のためにやっぱりこうしなければいけないということで掘削したり、または堤防を造ったりしたんですけども、そういうことがちょっと分かっていなくて、ちょっと大事なところを直接改修の対象にしてしまったということがあって、後でその進め方について1回止めて、もう1回どうやるかを考え直すということがなされたことがあります。ですので、掘削と合わせて、どう管理をよくするかというところは非常に格好よくて、分かりやすく、そういう話になるかなと思って、いろいろ現実を見て考えたんですけど、どうもそれ以前の問題としてどこが重要箇所、どこを守るんだということを絵にしっかり描いておくというところから管理を始めるべきだといった例です。

それをできるようにするために、ではどういう場所がいいかというのをどうやって判断するのかということについてまず作っていくという、そういった初歩的なレベルからやるんだなというところで話をしたかったということです。

こういった内容で今日は用意してきました。なかなかまとまった内容ではないんですけども、こういうものをもう少し形にして、「考え中」というのをしっかりと検討して、最後のまとめに書きました。(スライド59)

ここに4つほど出しているこの技術に埋めていく

● スライド59

**何ができていてできていない: <考え中>の事項集**

- 川幅を基軸として、兼ね合い・バランスについて検討した上で、個別パーツの検討を加える、という河道設計は真に有効なのか?
  - 変化速度(m/年など)・労力とマージンの兼ね合い
  - 河積・洗掘など複数項目間のバランス
  - 兼ね合い・バランス条件を満足させる調整としての設計
- 川幅の変化(州・島の形成も含む)
  - 安定的な幅からずらす→応答・変化速度→管理の負担大小?(seg.1とseg.2に分けて)
  - 高水敷再形成(川幅縮小)、二極化など河床変動にもなる川幅変化も見越して
- 河道区間で目指すべき土砂管理
  - 河幅設定:維持掘削の重点対象区間をコントロールしうる技術として捉えて、どうコントロールする?
  - 氾濫リスクの観点
    - 河床変動を抑えるべき河道区間、重点対象区間とする河道区間
    - そうした改修・維持管理によってリスクを現況より増加させない
  - 維持管理
    - 一時的に増加する埋積量への対応、総合土砂管理での対応案 など
- 土砂関連情報の発信(本質的には、なぜ河川を管理するのか?わかり易い説明)
  - 予算・手段・継続性の確保が主目的
  - その他にも「ストック効果」の発信も効果ありでは。

ことで、今日お話をしたような枠組みが本当にうまく組めるのかどうかということを考えていきたいと思っております。皆さんからも、こういう考え方、そもそも前提のようなものがあるのかとか、「考え中」と書いてあるけど、あんな考え方でいいのかというようなことについて、ご意見とかご質問などに出していただけたら幸いです。どうもありがとうございました。

<質疑応答>

質問者1 今、国土交通省さんが氾濫計算をやって、超過洪水の計算を一生懸命にやっていますね。それで、その話と今日の河道の維持管理の話とちょっとリンクしたようなお話をされていましたが、私がまだ現役のときにはそもそも超過洪水というのはないものとして河道の設計をしていましたね。それで、どちらかと言うと左右岸のバランスを考えて、計画洪水流量のときに大体同じような安全高を保つ、それが河道計画の大きな考え方だったと思います。

今日のお話を聞くと、「超過洪水」という概念を河道の設計論に積極的に入れていくという、そういうスタンスに立ちつつあるのかなと。それで前進していくのか、あるいはまた戻ってしまうのか、その辺の見通しはどうなんですか。服部さんのところでそう考えていくのか、国としてしっかりとその超過洪水まで考えて川の作り方を考えていくのか、そういう方向にあるんですかね。当然、超過洪水になってくると、堤内地の土地事情のあり方等とかいろいろ整合性を取らなければいけないという話があって、非常に難しいと思いますが、この辺の見通しのようなことをお話をいただければありがたいと思います。

服部 まだまだ予断を許さない状況だと思えますが、先ほどお話をいただいた時代と比べるとかなり積極的にやっているということは間違いのないと思います。今日はあえて、まだまだ検討中なので分かりにくい形で出していますが、先ほどのように流下能力は満足しているんだけど、リスクのことを考

えてもうちょっと掘ろうかということが実際に事業としてお金を付けていただけるような、認めてもらえるような形にはなってきております。ですから、そういう意味ではかなり一歩踏み込んできているなということです。

例えば昔ならこの部分、超過洪水を与えているので、ちょっとだけオーバーしていますけども、設計流量を与えると確実にこの下に行くという場合に、この部分をちょっと掘らせてくださいと言っても、何だ、流下能力が満足しているんだから、そんなことをする必要がないじゃないか、と撥ねつけられてしまうところだったんですが、ちゃんとこういうことについて氾濫計算をして、ちゃんと説明して、こういう図で、こういう悪さをしてしまうからこう下げるべきだということに対して、これだけやってくれということになると、場合によってはちゃんと理解していただいて、できるようになってきたなという環境は僕も感じております。

それで、後押しするようなこともありまして、気候変動の最終答申がそろそろ出るかと思っておりますけども、あの中でもこういった超過洪水を考えていて、中間答申に書いてある内容を引用しますと、「全部の整備計画をもう1回そういった目で見直す」といったような書きぶりがあったと思っておりますが、それがある種の決意表明でして、「見直す」と書いてあるのでどこまでやるのか分からないというのが私の正直なところですが、しかしこういった観点が重要だということで、かなり入れていくのかなというように思っています。

それで、こういった検討も、ある一河川の例ですが、そういうことでどこまで踏み込めるかというのをやっぱり実河川で検討していかないと、なかなか踏み込めるものも踏み込めないもので、今こういった事例をちょっとずつちょっとずつ増やしながらやっているところです。ですから、最終的に河道設計という立場で超過洪水まで入れて断面を決めるところまで行くのか、やはり維持管理のマージンの中に入れて込んで、ちょっとうまくやりなさいという

感じになるかというのは、今後のこういうものの検討の中でだんだん決着を見ていくのかなと思っています。なかなかシャキッとしたことは言えませんが、全体的な方向としてはかなり積極的だということでご理解いただければと思います。

**質問者2** 服部さん、ありがとうございます。謙遜されておられたんですけど、これだけ網羅的にまとめて話ができる方はなかなかおられないんじゃないかなというように思っています。

ただ、今後の政策とか技術基準とかを考えていくときに、根拠とか見通しのない技術を当てにしているいろいろなことが組み立てられるのを非常に危惧しているんですね。今日のお話の中で、やはりそういう意味で具体的に実際の例えば工事とか計画に反映させていくという意味において、どの辺が技術的に、あるいは学問としてと言うとちょっと言い過ぎかもしれませんが、そういう意味ではネックとなるクリティカルなところはどの辺だと見ておられるのか教えていただければと思います。

**服部** 個々のちょっと細かいことでいくと、ちょっとうまくお話ができなかったんですけど、私の講演の中では「考え中」と書いてあったところが、まさしくそこに当たるのかなと思っています。川幅を基軸として設計するというところでやっていったときに、上下流のリスクの分担がどう変わるかということについて設計していくと言いましたが、そこまで川の河床変動を見通して川幅を作って、うまく河床高をコントロールできるのかと言われると、ちょっと技術的にまだまだ心もとないところがあると思います。でもそういうところは症状としてはけっこうしっかりと出ているので、あれをちゃんとした量としてコントロールし得るかなというところがかなり重要かなと思っています。そこまでできればかなり維持管理にも繋げて、それをどうリスクにつくのかということまで繋がってくるポイントになってくるので、河床変動という意味で言うと、そこがかなり重要かなというように思っています。

その上で、繋げる先のリスクとして、今日言った



ようなのは粗いやり方をやっていますが、ああいう形でリスクの見方がいいのかとか、リスクを低減するという見方が、今日は非常に納得しやすいところ、現況よりいかなる出水が来ても被害を小さくしようという簡単な見方というのが非常に納得しやすいんですが、ではどの程度下げるのかとか、本当に1万分の1みたいな洪水が来たときもそんなことをしなければいけないのかとか、やっぱり程度というのがあると思いますが、そういうところは一切示していないで話をしておりますが、そういう出どころはどうするのかということ。それをまた河道に返したらどうということなのかということについて、なかなかうまく話せていないところがありますので、そういうところが固まってくるといいのかなと思いますね。この中であえて絞れと言われれば、その2つが大きいかなと思っています。

それで、もっとできていないことで言うと、この最後のところですが、「ストック効果」という言葉が最近では流行っていると思いますが、河道改修して流域としてどれだけよくなったか。道路とかだと格好いいのがあるんですね。何分で結びつくようになったから、産業はこれだけ発達してこんなよくなったとか、公共事業がどう社会に役立っているのかというのが分かりやすいんですが、治水は分かりにくくて、こんなによくなったからこんなに町ができたと言っても、何か「電車が通ったからなんじゃないの」と言われてしまうかもしれない、何か書きにくいところがあります。

それで、いろいろ検討して、ではこれまで投資したお金の分ぐらひは、被害額は減っているのかなとかいろいろやっているんですが、なかなか思わしい結果が出ていなくて困っています。ですので、そういうところがないと何か川のリスクとか何とか、ある種の空想の話なので実感ができない、とか言ってですね、維持管理ってやっぱりそういう「わけの分からないリスク」ということでないと説明できないのかなというところが一番大きいかなと思っています。なので、もうちょっと実感できる値として、こ

ういうものが何か説明できるようにしないとこのまま継続性できるのかなということを考えています、その示し方が、これは全然できていないんですが、大きいかなと思っています。

**質問者3** 今日はありがとうございました。

ちょっと簡単な質問なんですが、河道管理基本シートを用いて護岸管理であるとか、河積管理であるとかいうお話があったんですけども、やっぱり一番よく揃っているようなデータを用いて管理していくというやり方が、一番初めの取っかかりとしてはやりやすいということなんですけど、特に護岸管理について、大体最深河床高で評価する、それに対しての管理河床高はどうかとか、あとは最深河床位置がどうかということの評価というのはよく見られるんですけども、中小河川とかでは大体それがよく効きそうかなと思いますが、川幅が広い大河川等では最深河床位置というのは、それほど護岸に直結するのかどうかということではけっこう疑問を持ったりもしているんですけど、その値でやっぱり効くのか、もしくは何か他の見るべき指標があるのかどうか。もしご意見がありましたら教えていただきたいなと思います。

**服部** ありがとうございます。恐らくご指摘としてあったのは、流速が早くて、護岸がめくれてしまうんじゃないかとか、そういうような他の要因でも壊れるということについて、河床高だけで見ているのかということも含めてご質問をいただいたのかなと思っていますけど、そういうことでよろしいですか。

**質問者3** はい、そうです。

**服部** 分かりやすいということで、エイヤッと1回作ったんですが、やはりご指摘のところが心配になりましたので、なかなかうまく論文としてはまとめられていないんですが、こんな検討をしてみましたというご紹介です。過去に護岸直轄等々で被災した事例がありますので、被災した箇所も分かっていますので、それを集めてきて、その前の河床高がこれで言うところのどこら辺に当てはまるのが多いのか



みたいなものと比較してみて、では何割ぐらいこの見方で当たっているのかなということをやったんです。逆に今、この余裕高と言うか、この判断の余裕代（しろ）と言うか、どのぐらい近づいたら危ないと判断するかというのを、何cmにしておいたらいいのかなということを見たくてやったんです。

そうしたらたしか大体、すごく安全側に見て90%ぐらい当たるぐらいの、被災箇所が当たるような形でやるとすると、確か最深河床高の位置が基礎高よりも確か1mか、1.5m上だったか、それぐらい上で判断しておくとか大体全部が当てはまっているみたいな形になってきて、流速というのがあまり出て来なかったなというように記憶しております。

ですから、すべからくピッタリ当てると言われると、たぶん、流速で壊れた物もあって、その中に入っているんで、必ずしもメカニズムは合っていなかったかもしれませんが、維持管理でどこで危ないのかと気づいて、危ない箇所についてはそういったことも含めて詳細点検と言うか、詳細検討して、本当にどういうやり方をするのかというところに使っていく。つまり、あぶり出しと言うか、スクリーニングという意味においては簡単さも重要だから、それでそういう粗い検討ですけども、1mぐらいを見ておけばそんな形は見えそうだとすることがあったので、まずはこれを使っていこうかなと思っるところです。

そういったものを、やっぱり一回決めてしまうとなかなか変えないというのはよくないんですけど、一回そういうのを決めて、どんどん回していって見て、それで失敗したところが出てきたら、もう一回これをよくするというスキームを作っていくということをやっていこうかと思っています。やっぱり維持管理なので、そこで考え込んでしまって判断しない、フローを示し続けられないということが一番よくないと思いますので、一回これをやってみよう。それで当然いいと思っていないから、検証し続けよう。それでどんどん成長させていくということが重要ななと思っています。格好良いことを言うと、国

総研でやるのは技術のPDCAであって、そこをやっていくというのが我々の仕事だと思っております。現場は現場を管理していただいて、我々はこの技術はこれでいいのかということ管理させていくというフレームをもう1つ作ってこうやって回していこうと思っています。今は大体そういう検討の状況です。

**安原** ありがとうございます。1つだけ私からよろしいでしょうか。

河道の容積変化の分析がありまして、非常に興味深く拝見したんですが、1つは河道の容積を見るときに、土砂と、あとは樹木も非常に興味があって、それが河道の容積をキャンセルしてしまうような作用があるなというのが感想として思ったということ。

それからスライド54のコメントで、ちょっとグラフの見方が分からないので、不適切な質問なら大変恐縮なんですけど、「河道掘削を行わなかった場合には全国平均では堆積傾向となる」という記述がございまして、期間2の容積変化ですが、これは掘削をしなかったところでは全体的には土砂が堆積傾向で、容積が少なくなった、言うなれば、土砂は溜まる方向に全国の川があると、そのように捉えてもよろしいのでしょうか。ちょっと意外だったような感じもするんですが、その辺りはいかがでしょうか。

**服部** すみません、最後のところは時間で焦ってしまって説明が雑になったのでもう一回説明します。

最初の方ですが、この絵で樹木も入れるともっとこうなるんじゃないかということですね。それで、これは実は樹木抜きバージョンで、最近、平成に入ってから水辺の国調をしっかりとやらせておられるので、それで樹木の面積を出して、それで高木と低木という感じに分けて、容積を出してH.W.L.を超えてしまうか、超えないで半分ぐらいかというのを、エイヤッと決めてやったものも実は作っています。それをこの絵に入れて、それで木が生えた分だけ容積が減るというもので引き算をすると、当たり前です

けど、もうちょっと勾配が寝てくるという絵が出てきて、かなりびっくりするような値になります。今日はちょっとお示しができなかつたんですけど、そういうのも作ってやっているところです。

ただ、ご批判もいただいております、やっぱり木が生えるということと河道掘削というのは、大まかに大きく容積が増えているようなときはいいんですが、やっぱりネック箇所があって、そういう場所で木がちょっと生えると、この絵としては大した量としては出ていないんだけど、流下能力が足りなくなるということについてはよく見えないねということをおっしゃっておりまして、なにせ使い方というか、そういう個別河川の場合にどう使うかという場合と、やっぱり全体として大きく、10年、20年というスケールでものを見ていくときには、何かこういうような使いわけでうまく見ればいいのかということについて、今ちょっと苦労しているところです。そういう苦労の中で、すみません、分かりやすいということで今日は出したところです。

それともう1つの質問は、すみません、雑に説明してしまったのでちょっと分かりにくかったと思いますが、この絵に関係していたと思いますが。これは濃い青が実績値、平均河道容積が実際にどれだけ増加しているかというのを実績値で書いた図がこれです。それで、この実績値の中には掘削し続けて増えているものがあって、結果としてこれだけ増えている、それでこれに対して水色はその掘削している量を川に戻してやりましょうと。それが溜まり続けるという簡単な過程、本当は溜まってしまったらまた溜まりにくくなっていて、ということをお考えなくちゃいけないんですけど。仮に全量取ったものを戻し込んだら、河積が増えなくなっているのか、やっぱりそれでも増えているのかということをおここでやったのが水色です。

それで、戻してやったというので、例えばこっち側に増えてしまうと。そうすると全体的に左寄り、つまり堆積傾向の方にずれてしまっていて、全国平均するとマイナスの値になってしまっていて、どんどん

掘削しないとどうも全国河川の平均で見ると河床が上がってしまうという方にずれていく、そういう計算の仕方をしました。

**質問者4** 川幅の拡幅の話があったと思うんですけども、直線のようなところで拡幅して、河道の中央のところに中州ができるようなパターンがあって、こういったのは普通にちょっと、私はあまり多くの事例を見ていないので、こういうのが自然にできるものなのか、私が思っているのは、工事でこういうようなものができているんじゃないかという気がしまして、どうしても拡幅したときには護岸前の根入れというか、そういうところだけ1回バーッと深く掘るので、そういったことで拡幅して一直線ですけれども、その前を1回深く掘っている、そこに水みちが付きやすくてどうしても両サイドというか、左岸際だけ深く掘れてそういう風になるのか、その辺が人為的な影響が寄与しているのか、それともそういうのが分からなくてよくこういう場面があるのか、もしそういったような知見がありましたら教えてください。

**服部** これについては先ほど言ったように、若手が調べだしたばかりでして、まだ空中写真をこう、こんな感じで何枚も並べて見ている段階ですが、ご指摘に相当するものもありました。例えば湾曲部内岸側の砂州を取るときに、ちょっとワンドを気にしたんですかね、潰してしまうかもしれないと思ったので、川の真ん中辺りに細いようなものを残して、裏側だけ掘るといようなことをやっていて、それがこういう見もらったような形で真ん中だけ残っているという川も確かにありました。ですから、狙ってやっているようなものもあります。

かと言って、砂州ができた後に連続で見ていると、たしか堰の上流だったと思いますが、池みたいになっているものの上流だったんですけども、このあたりで上流の後ろにだんだんと成長して繋がって行って、ヒューッと長くなっていくというものもありましたので、最初のきっかけで溝状のものを最初から残していったんじゃないかなさそうなものもありま

す。そういうものはまだ丁寧に分けていないで、エイヤッとかこういう図を作ったりしているのでちょっとまずいなと思っているんですけども、そういうようなものをもうちょっとしっかりと見ながら、どういった成因でできているのかということを見て、

ちょっとうまく川幅をコントロールできるような技術を作っていきたいなと思っています。どうもありがとうございました。

(了)

平成27年度  
第4回 河川研究セミナー

今後の河川維持管理の課題と方向性

藤田光一 氏（国土技術政策総合研究所 研究総務官）

〈全体討論〉

これからの河川維持管理のあり方について

開催日：平成27年8月26日（水）

場 所：AP秋葉原5階



# 今後の河川維持管理の課題と方向性

国土技術政策総合研究所 研究総務官

藤田 光一

藤田 今日はこの風にやれば河川維持管理がうまくいくという情報をバツと提供するというのではなく、どちらかと言うと、では次どうしたらいいんだ、というように考え込ませてしまうような内容になってしまうかもしれません。ただ、過去3回の講師のお三方の講演内容が、相当カチツとしたものであったというように私も感謝を込めてそのように認識しておりますので、その最後ということで、ここにありますように、今後の、次なる展開と言いましょうか、そういうことを考える何らかのヒントになればと考えてこういった課題を設定させていただきました。

この後、壇上に上がっていただく皆さんにも、少々無理なお願いをしております、「過去3回の題材を大いに使っていただいてけっこうですから、少しこういうことをどうですか？」というように、しゃべっていただきたい内容を事前にお伝えして、それで議論をより深める、ということは今考えているという状況です。

それで内容の骨子ですが、ページに4つのゾーンがあって、それぞれこういう4つのことが書いてありますので、少しこの資料の内容をさっと見るときにはこれをお役立ていただければ。おさらいな話、それから全体像、それから議論の下敷きと論点と、こういう感じです。それで一応、今日は少し考えさせてしまうということの1つのベースがこういう認識です。(スライド1) 1つ目は、全体像の把握、これは自分たちの反省も込めて、要するに全体像の把握が弱いんじゃないかということ。そして個々の取り組みが、全体の維持管理の向上にどうつながっているかのリンクの意識が弱いんじゃないかという

ことを、あえて書きました。

それから、河川というのは古くて新しい課題がやたら多くて、外野から見たときに、昔と何が違うんですかと、ともすると聞かれてしまうんじゃないか、それに対して我々は十分に分かってやっているかという、そういう課題認識が2つ目です。

それから3つ目は、ともすると「河川って難しいんですよ」っていう話何か言い訳めいて存在するんだけど、ではだからと言って河川が特殊なので、維持管理の大きな体系の中で独立王国でいいのか。そんなわけではない、国民に対してこの管理が重要であるということをざっと説明できないようでは話にならないじゃないか、というのが3つ目です。

そういう意味において、もう一段階何か維持管理の目的とか目標を具体的に共有化するということを、それで積極的にその目標を掴みに行くみたいな、そんなことを考えるともっといいのかなというのが4つ目ですかね。

それで、技術開発の議論はすごく大事だということとは論を俟たないんですが、やっぱりニーズとシーズのマッチングというのが常に出てくるので、この

## ● スライド1

### 内容骨子

- p3-12: 少しおさらい→河川維持管理の特質の確認
- P13-15: もう少し広い観点からの全体像の見方を提示
- P16-23: 課題認識と方向性提示→議論の下敷き
- P24-28: それを踏まえた論点

#### 〔元となっている認識〕

- ✓ 全体像の把握と個々の取り組みの位置づけ明確化
- ✓ 技術の進展経緯の理解
- ✓ 説明性の強化・オープン化(河川で閉じない言語)
- ✓ 目的・目標の共有化・具体化・主体化
- ✓ ニーズとシーズのマッチング
- ✓ 経験と理屈のベストミックス

辺の詰めをしっかりとやる必要があるかなど。

あとは、やっぱり経験はすごく重いんだけど、やっぱり経験だけではまずい。しかし理論だけでもだめだ。その組み合わせをどうするかというのを常に意識していないで、どっちかに偏ってしまうと、古くなるか、危うくなるか。この辺のベストミックスの議論を常に意識するようなそういう仕事ぶりにできたらいいなという、そういうちょっと背景の認識を持ちました。

ちょっと言い訳めいていますが、議論が拡散するとあれなので、3年ぐらい前ですかね、『河川砂防技術基準 維持管理編』を決めました。今の河川管理者は、それをしっかりとやっているということが大前提の話です。

それから環境はすごく重要なんですけど、時間が限られていますので、ここはちょっと、今日は扱わない。それから、縦断方向の上下流バランスとか、これもまた別の次元ですごく重要なんですが、これを言い出すとまた話がややこしくなるので、これはちょっと置いておいて。それから、今までの課題は大いに論じますが、それは何と言っても次にどうするかということで、過去をあげつらうというそういう趣旨にはしたくない。こういうスタンスで行きたいなと思っています。

平成24年の9月に、当時の河川環境管理財団さんにお世話になって、3年前のこの河川研究セミナーですかね、当時、河川研究部長をさせていただいたときに、大分こういう課題でしゃべらせてもら

いました。(スライド2)

ここからしばらくは、少しだけそのときのおさらいをしようと思います。それで当時の趣旨は、やっぱり河川というのは舗装とか、トンネルとか、橋梁とか、そういう純然たる人工構造物とどういう違いがあるんだろうか、河川の対象を十分に理解した上で、それに合った管理というものをしなければいけないね、というのが強調点だったと思います。当時は、そういう観点でこんな題でしゃべりました。そのエッセンスだけちょっと言いたいと思います。(スライド3)

当時、やっぱり管理の定義ということについて、これまた河川砂防技術基準ができる前の話なので、勝手にこのように書いてしまいましたが、誰が考えてもそんなに大きな違いはないわけで、1つ目にありますように、「起こってはならない事象が発生する可能性、あるいは河道状態の良否を示す指標を取り上げ……」と、こういうことですね。

維持管理のそもそもの目的は何だということは、河川に限らずしっかり定義するということは大事だねということを一応前置きで言って、あとはそこにあるような話を最初に入れさせてもらって、最後に「以上をもって、起こってはならない事象および好ましくない河道状態が出現する可能性が最小化された状況を維持させること」と、ちょっと小難しく書いておりますが、目標というのを明確にすることが重要で、これは今日の後段の議論のひとつのポイントになってきます。

● スライド2

◆河川に関わる維持管理の特徴・全体像の再確認  
→以下から抜粋

河川研究セミナー  
平成24年9月26日：河川維持管理財団

**【第3回】**  
**河道・河川構造物の管理効果の  
見える化技術の進展と課題**

～管理の効能をどこまで数字で語れるか？  
語るべきか？～

国土交通省 国土技術政策総合研究所  
河川研究部部長 藤田光一

● スライド3

**1. 管理の定義(最低限のレベル)**

- ・起こってはならない事象が発生する可能性、あるいは河道状態の良否を示す指標を取り上げ
- ・その指標の時間的・空間的変動(過去～現在～未来、実態・予測を含む)に基づき、
- ・適切なタイミングで適切な判断を行い、
- ・それに基づき必要な措置を講ずること。
- ・講じた措置の効果・課題把握を含め、上記を継続的に行うこと。
- ・以上をもって、起こってはならない事象および好ましくない河道状態が出現する可能性が最小化された状況を維持させること。

※通常、河道の骨格の変更までは措置に含まない。ただし、管理行為を通じて、骨格変更の必要性の判断を行うことはあり得るし、重要でもある。  
※災害調査・分析など、問題発生後の調査と技術評価、教訓獲得・共有化等はここでは主対象とせず、あくまで問題発生を防ぐ観点からの行為に絞って、議論を進める。

ではその管理の行為にはどんなものがあるかという事です。(スライド4)

「状態把握」とか、「トレンドの把握」とか、それで「(気づき)」というのは、ここが河川らしいところなんです、すごく重要なこと。カッコなんだけど重要だなということを当時は言いました。それから、問題発生に関わる事象の特定、どういう事象がその病気を起こしているのかということですね。

それで「予測、評価」して、「判断」して、あとは「(洞察)」というのもあって、これも相当河川らしいところだと思いますが、洞察力というのは実はある場合には非常に重要になると。それで必要な措置の選定、選び取って実行するということになります。それで措置にもいろいろあって、このように直接原因を除去するとか、間接的に除去するとか、起こっても処理できる状況の創出とかいろいろあるんですが、こういう管理の基本的な要素を整備するというのも大事だねということをごここでやりま



した。

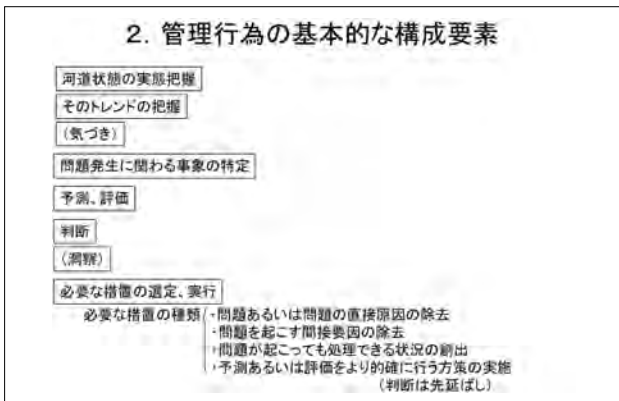
それで、ここから先の類型の話は、これは前回の服部さんの講演で出てきた4象限、あれとほぼ同じで、ちょっと表現は若干違っていますが、基本的な考え方は同じです。(スライド5、6)

この表で言いたいことの1つは、同じ河川管理と言ってもけっこう多様で、十把一絡げに河川管理と言ったら訳が分からなくなってしまうよと。それを少し多少理屈立って分解した方がいいんじゃないのと、こういうことであります。

それで分解するときはどうしようかということで、ここにありますように、考えるべき現象が分かっている。判断基準が明確か、そうでないか。それから、定量的・工学的予測手法があるか、ないか。こういう象限に分けたとき、当然これが一番カチッとしているわけですね。

これはまだどういう風にその問題を解いていいか分からないけど、定量的・工学的な手法があると。これはこれです。こっちは対象ははっきりしている

● スライド4



● スライド5

3. 管理の類型化:各類型の定義と基本要件

	考えるべき現象がわかっている。取り込まれている。AND 対策実施の判断基準が明確である。	考えるべき現象がわかっていない。取り込まれていない。OR 対策実施の判断基準が明確でない。
定量的・工学的予測手法有り	A1: 状態のトレンド把握が起点 A2: 定められた予測・評価の基盤が起点	(「使われていない」状況) B: 状態把握と予測・評価の取組みが中心
定量的・工学的予測手法なしor不十分	(「実行的でありことが多い」) C: 課題の予兆の把握が起点	(「あてもない」状況) D: 事態に「察」に触れた上での「気づき」が起点

※本セミナー第三回の服部室長による資料の「河川管理のタイプ区分」に対応

● スライド6

4. 管理の各類型の代表例

	考えるべき現象がわかっている。取り込まれている。AND 対策実施の判断基準が明確である。	考えるべき現象がわかっていない。取り込まれていない。OR 対策実施の判断基準が明確でない。
定量的・工学的予測手法有り	A1: 建物(貯水等)の生育/拡張後の川幅縮小/切り下げた高水警での増幅/「上割した護岸の再築」に伴う低下能力低減	(「使われていない状況」) B: 河床侵食の進行を踏まえ、洗の出水で堤防侵食の危険があるかの判断が必要な局面/河床低下の進行の把握を踏まえ、次の洪水で洗掘が懸念されることを踏まえ、中州の延伸を踏まえ、次の洪水で低下能力低下あるいは偏割による侵食・洗掘が起きないかの判断をすべき局面 断続的・植生繁殖、土砂堆積が誘引する河床下の河床低下がこのタイプ
定量的・工学的予測手法なしor不十分	(「定型的であることが多い」) C: 堤防状況のチェックと対応	(「あてもない状況」) D: そもそも例を上げにくい。



けれど、何と言うか、数字でカッチリと問題の対策を見出すことはけっこう難しいというのがこれで、これはもう大変でありまして、工学的・定量的な手法もなくて、かつ何を対象にしていいのかわからない。こういうものです。

それで何となく、これは分かりやすい。例えばだんだんと木が生えてきて流下能力が減ってきて、もうあと2年も放置すると所定の流下能力を切ってしまうというのが「A1」ですね。

それから、これ以上、河床が下がってくると、次に大きな水が出て洗掘が起こると、基礎工を下回って堤防の洗掘があるんじゃないかとか、そういうある手法を使えば堤防が切れてしまうかどうかははっきりと分かるような、こういうものがあるとするとこれもここに入る。

それから、これは問題はちょっとよく分からない。例えば最近、中州が出来てきてちょっと膨らんだけど、このまま放置しておいていいかなというような話があったときに、では中州の成長をどのように予測したらいいか、ではその成長に対して上流から所定の土砂を与えて、では仮に今度は3,000m<sup>3</sup>ぐらいの水が出たときに中州が発達して、それが偏流を起こして、その偏流は果たして堤防を壊すような力になるか。そんなものを最新の、あるいは十分に完成度をつき詰められた手法を使ってやろう。これは「B」ですね。

これは当時は堤防点検、だからはらみ出しとか、段差があるとか、そういう所定の、なかなか定量的

にカッチとするのは難しいけれど、もう経験も含めてかなり体系的に診断ができると、その変状はこういうところを見なさいというのがはっきりしているもの、これは「C」に当たるんじゃないかと。

この「D」というのが、もう何も手がかりがない、「実態に丁寧に触れた上での「気づき」が起点」と、ちょっと訳の分からないことが書いてありますが、こういうものであると。

それで河川は自然の話なので、もちろんこういうカッチとしたものができているものがたくさんあってほしいんですが、これだけでは済まない。こういうものもある、こういうものもある。ましてやこんなものもある。これらがトータルでバランスよくぐるぐる回することで、本当にうまく河川の管理が回って行くということが大事なという話を3年前にさせてもらいました。

ポイントをもう1回言います。(スライド7、8)「複数の類型にまたがることもあり得る」。それから、「ある類型から別の類型に遷移することもある」。分かりやすい客観化された手順という意味で、前のページの左上側に遷移するということはカッチとした工学的体系になるので、ひとつの目標になる。「ただし、それ以外の類型に属する管理の価値が低いというわけではない。これら4つは相互補完的関係にある」。つまり、訳が分からないものをうまく定量化できないから除くというのは、河川の管理ではこれはまずい。分かることだけやるとするのはまずいぞということを述べました。

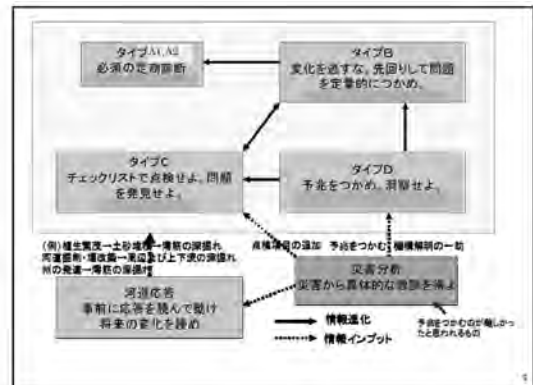
● スライド7

\*複数の類型にまたがることもあり得る。

\*ある類型から別の類型に遷移することもある。わかりやすい客観化された手順という意味で、最終的に左上の類型(A1やA2)に遷移することが1つの目標となる。ただし、それ以外の類型に属する管理の価値が低いというわけではない。これら4つは相互補完的関係にある。

\*すなわち、A1やA2のレベルに到達していないからといって、無駄というわけではない。河道の事象は複雑で、すべてをA1やA2のレベルでカバーできないので、現時点でA1やA2のレベルになっていないものを切ってしまうと、危険あるいは好ましくない事象が新しく出現しても、認識されずに放置されてしまう。解明度が限定的であっても、そのレベルに応じた管理を行っていくことが大事である。そうすることで、新たな問題の出現に無防備になることもなく、それらをA1やA2のレベルでカバーできるように持って行く取り組みも生まれる。

● スライド8



「すなわち、A1やA2のレベルに到達していないからといって無駄というわけではない。河道の事象は複雑で、すべてをA1やA2のレベルでカバーできないので、現時点でA1やA2のレベルになっていないものを切ってしまうと危険、あるいは好ましくない事象が新しく出現しても認識されずに放置されてしまう。解明度が限定的であってもそのレベルに応じた管理を行っていくことが大事。そうすることで新たな問題の出現に無防備になることなく、それらをA1やA2のレベルでカバーできるようにもっていく取り組みも生まれる」と、ちょっとこういうもっともらしいことを書きました。

だから、予兆を発見するとか、「何か変だな、最近ちょっと、これは今まで見たことがないけどやばいんじゃないかな」、みたいなことも必要だよということです。それで今言ったように、こういうAとかBとかCとかDがそれぞれぐるぐる回って、最終的にこっちに行けばいいんだけど、その中でこれとかこれが新しい問題を事前に先立って大きな問題になる前に発見して、それをちゃんとこういう方法でできれば予防的にものを防げるというそういう意味があるので、「D」というのは意外に大事だよと。

これらは実は災害の分析、それから河道の応答、地道に河床変動の経年変化を見て、「あれっ、これはどうなっているのかな?」みたいな、そういうことからこういうものに気づくということがあるよということを言いました。ここは回るということが大事ですが、「ここだけのきれいな世界だけを整えよ

うとしてはだめだよ」ということをかなり強調したわけであります。

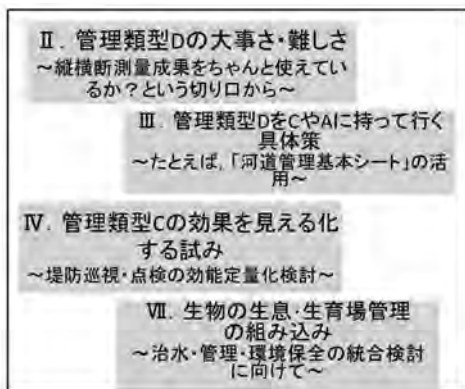
それ以外に管理類型で、ここですね。(スライド9)これが大事であって、しかし難しいよねと。今申し上げたように、縦横断測量をしっかりと見ると、意外に管理類型Dに当たるような、「あれっ、これちょっと最近変じゃない?」みたいなことを気がつく糸口があるよと、そういうことを忘れないでねという話とか。

それから、そうは言ってもいつまでも超人のような人しか気づけないような、そんな管理体系のままというのは現実的ではないので、管理類型DをCやAに持って行く具体策、これが大事だね、ということで何度か皆さんにもご紹介していると思うんですけど、これは服部さんの講演でもあったかもしれませんが、河道管理基本シート、こういう道具を使ってもうちょっとシステムチックに、「気づき」を具体的な工学的な手法に進化させるという、そういうことが大事だねという話をしました。

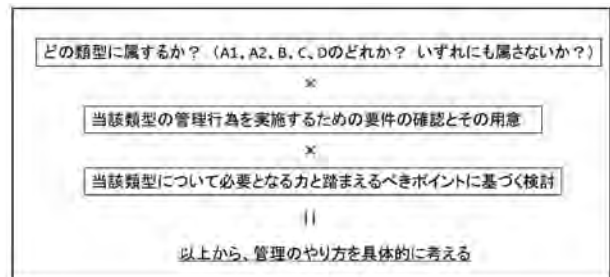
それから点検は定性的な診断に止まらざるを得ないものであっても、なるべくそれを定量化するという検討が大事だねということで、当時は確か河川研究ですごく一生懸命にやっていた、堤防の傷をいろいろ調べるみたいなものが、最終的にはどのように大きな災害を防ぐことにつながったのか、つながらなかったのか、ああいう巡視点検がどういう意味があるのかみたいなことを分析することを紹介しました。

それで、もう1回言いますと、「河川管理」ということを一言で片づけるなということです。(スライド10)

● スライド9



● スライド10



内容が違えば大きく分けて4つぐらいのものがあるよと、それもどれに属するのかなと、それから、それぞれに属する類型の管理をやるためにどういうことが必要かなと、では、そういうことが必要な要件はどうやって整えたらいいのか、という辺りから、それぞれに適切な管理のやり方を考えるというのが大事だよな、という話を少しまとめた的に言ったわけです。

それでちょっと脱線したんですが、管理というものが特に現場の職員にとってあまり面白くないという議論も当時あったものですから、ちょっと楽しみみたいなことを書きました。(スライド11)

Aの類型は何が楽しいのかとか、Bの類型の管理は何が楽しいのか、Cは何が楽しいのか、Dは何が楽しいのかと、ちょっとやや脱線ぎみなことも書いて、何と言うか、河川の維持管理の技術というものは実はすごく川の技術の本筋であり、面白いんだよということを何かうまくストーリーづけができないかなみたいなことを少し皆さんに問いかけて、例えばD、「常人ではまねできない洞察力を発揮することの喜び、余人に代え難い技術者になる喜び」、みたいなことを書いたりしました。逆に余人に代え難いんですから、これはなるのがすごく大変なんですね。

だから当時話をしたのは、事務所の新人に、「出水があるからちょっと川を見てこい」というのは、もしかしたらいきなり新人にDをやれと言っているようなもので、そんなことを言っても面白くないわけですよ。何を見ても、「なんか草が倒れていました」、

● スライド11

**■各類型に取り組む人の楽しみ**

【A1】【A2】: 数字で答えが出ることの安心感と手応え、危ない数値に対処する際の緊張感・責任感。

【B】: 比較的しっかりした手法に基づき、危なさや対応法を見いだすことの喜び、学識者などを巻き込んで、技術を統合する醍醐味。これらを通じて、正当派河川技術専門家になれるかもしれないという期待感。

【C】: 変状を発見できる能力を培う喜び、変状発見が危機を救うことに直結することの充実感、目の前の患者をどんどん直していく喜び。

【D】: 常人ではまねできない洞察力を発揮することの喜び、余人に代え難い技術者になる喜び

で終わってしまうから。

それで、そんなことをやらせていたらきっと管理はつまらなくなってしまうので、やっぱり新人にはこういうものとかね。それで少しいろいろな個別の方法が分かってきたら、あっ、そういう方法を組み合わせると今まで言われてない新しい管理のやり方が工学的に分かるんだなと、Bにするとかね、そういうようにやっぱりシチュエーションごとにその人材を、どのように管理のことを面白く思うような一流の技術者に育てるかということも大事だね、みたいな話をちょっとここでやったわけです。

以上が3年前に話した内容です。

ここから先は、それをベースにしつつなんですが、今日は、河川という対象であるがゆえに特徴的な管理というものがあるよということが前回の主題だったんですが、それはそれとして、もうちょっと広く、やっぱり河川管理というものを客観的に見て、もっと分かりやすいというか、体系が明確な、さらに河川だけを見るんじゃなくて、河川管理が他の管理と比べてどうなのかとか、そういう観点からもう少し河川管理について気合いを入れるというか、そういう論点はないだろうかというように少し頭を切りかえて、この先20分ぐらい話してみようと思います。

それで、これはちょっと文字が小さいので、こと細かに見てくれと言うわけではないんですが、これは国総研の中でも少しメンテナンスの問題が河川の分野に限らずいろいろ議論になった中で、これは河川であろうと、堤防であろうと、橋であろうと何であろうと、維持管理というのはい体どういうトータルの全体像を持っているんだろうかということをし議論しようかという中で、カチッと確定したものではないんですが、1つのスケッチとして出てきたものです。(スライド12)

例えば、これは技術的な側面、損傷、劣化、機能喪失のメカニズムが分かっている、その影響が評価できて、その状況がモニタリングできて、健全度が評価できて、それでその機能の喪失が予測できる。まずこれができたら完璧で、これのために研究開発

とか現場情報とか、ナレッジとか、技術開発、活用があって、それで当然ここで点検・モニタリングを診断、評価をして、それで対策を実施します。それで対策が回るためには有効性把握済みの対策工法がある、こういう世界です。それで、ここに技術基準としての維持管理の水準というものがしっかり出てくる、こんな話があります。特に上の部分は狭い意味でのメンテナンスの技術、技術のマネジメントというのがあります。

それから管理を実施するという側面があって、ここが前回の議論では特に言わなかったんですが、体制・制度・ガバナンスというのが当然ある。管理をするその体制、これは必ずしも役所の中の話に限った話ではなくて、当然、今の世の中、発注体系も含めていろいろな形で維持管理がなされているので、当然こういうのを幅広く捉える必要がある。それからお金も当然ある。それから既にいろいろ議論になっていますが、技術者、技術力、それからそれを発揮する体制があるのか。技術力、技術者が少ないとかそういう議論ももう散々言われてきていることです。

それからこういう時代になるとデータベースの議論が毎回出てくるんですが、現場情報の蓄積・整理と、アクセス性確保と、こういう話があると。それで、このマネジメント系の中にちょっと細々書いてありますが、「包括的・長期的視点から地域・国土に果たす社会インフラの役割を見据えて、最適な維持管理を持続できる（PDCAを回し続ける）」のにどうい

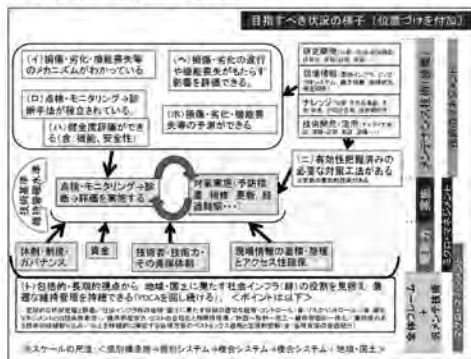
う要件が必要かなという話をずらずらと書いてみました。

それで、川に限った話ではないので、河床変動とか何とかとそういうことは書いてありませんが、では河川維持管理について見ると、この中の今どこが弱いのかと。どこに今一番ネックがあるのか。それは技術の部分は何なのかと、それからガバナンス的なところは何なのか、技術的にはどうなのかと、何となくこの辺の全体のスケッチがもっと議論されてもいいのかなと。もちろん技術の話もすごく大事なんですが、トータルを回す中でどこが弱いのかなという話。それで、どこを突くと、それがどういう風にグルグル回って何を良くするのかなみたいな、そういう個々の取り組みが全体の問題解決にどう繋がっていくかという道筋の議論ですね。これはまだまだ足りないと思いますが、しっかりやるということが大事ではないかなということをちょっと問題提起したくてこういうのを作ってみました。(スライド13)

例えば、肝心の技術が、実はだめなんだ、何か格好よくやっているけど、実は中身がないんだ、ということだと話にならないんですが、こういう技術をしっかりやりましょうということもあるでしょう。それから、技術者が非常に弱いという話、ここがやせ細ってきたとしたらどういう処方箋があるのか。それからデータベースの話ですね、そういうのがなかなかしっかりできないんだしたら、それをどういう風にやったらいいのか。やっぱりその体制の議論、

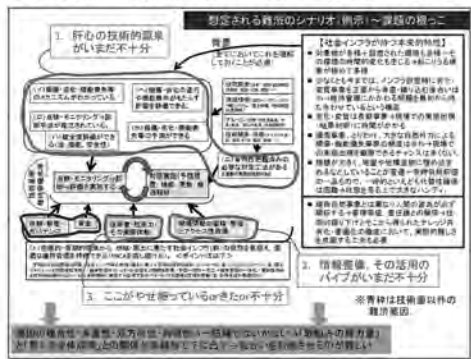
● スライド12

◆もう少し大きな観点からの全体像の例



● スライド13

◆もう少し大きな観点からの全体像の例ー難渋シナリオ想定例



仕事のやり方というのが新しい問題の解決のステージの中で、当然、昔と同じ必要はないわけですから、こういうもののそれぞれの問題解決と連動させて、やっぱり仕事の進め方についても体制が当然改善されてもいいだろうと。こういうことをやっぱり常にその時点、時点でとらまえておくという、そういうことがもうちょっとできないものかなということをごここで問いました。

ISO55001というのがあって、関連している方もいらっしゃるかもしれませんが、これは下水の分野ではもう非常に進んでいます。(スライド14)

当初、私も勉強不足で、名前がアセットマネジメントなので、またアセットの何か減損の式を作って、ライフサイクルコストで何ちゃらかんちゃらと、そういうことかなという風にちょっと勝手に誤解していたんですが、中身を見てみるとこれはまさに仕事のやり方、メンテナンスの仕事のやり方のあるべき姿のフレームを示しているというものであります。だから、よく日ごろ口にしている、なかなか昔の調べたデータが出てこないんだよとか、AとBと問題があるときにどちらを優先させたらいいかの判断が、意外に統一的にできていないんだとか、しょっちゅう口にするような課題みたいなものをどのようにシステムチックにやるべきかということのフレームが書いてあります。

認証を取る必要があるとかそういうことではなくて、仕事のやり方を、あるいい形、いい目標に向かって継続的に進化させるような仕組みとして、こうい

うものも大いに勉強してもいいのかなとちょっと思って少し紹介しました。細かいことの紹介は省きますが、これはダウンロードすれば中身はすぐに見れますので、興味のある方はぜひ。今申し上げましたように、あるべき仕事の全体像の設定、ギャップ、理論上役立つと。

「意思の継続」って大事なかなと思います。つまり、いつか問題があってワッとやるということで終わらせないで、そういう改善の仕組みを組織の中にビルドインするのにどういうフレームがあったらいいのかなということ、けっこうそれなりに考えられた内容を持っているなという意味で、これをそのまま機械的に取り入れるということではないんですけども、刺激を受けるのに価値のある情報かなと思って少し紹介しました。

それで、以上のような全体像の議論を少し、もうちょっと考えてもいいのかなということ踏まえながら、ここでもうちょっとその具体の議論をしたいと思います。

ここであえて、これはあまり言っていないかどうかあれなんです、こういう発想から一旦距離を置いて、もうちょっと考えてみたらどうか。(スライド15)

「河川って難しいんだよ、地道にやるしかない」とか、「まずは川のことを分かなければだめなんだ」とか、それから「経験が大事だ」とか、「いろいろ試すことが大事だ」とか、「1回や2回では成果は出ないよ」とか、「河川は難しいからなかなか

● スライド14

**ISO55001**

「下水道分野におけるISO55001適用ユーザズガイド  
(案) 平成27年3月」  
by 下水道分野におけるISO55001適用検討委員会

- 有用なフレームであり、本質を相当カバー
- あるべき仕事の全体像の設定、それと現状とのギャップの把握に関して、理論上役立ちそう。
- 意思の継続とそれを支えるシステムの確保を提示。

● スライド15

**あえて、以下から少し離れて考えてみる**

- 河川は、そこに設置された構造物も含め、複雑な(半)自然システムであり、その挙動は簡単にはわからないもの。地道が大事→少しずつ理解を深めていく。
- まずは状態把握が大事。「河川で生じていることを知る」が基本。
- 当該河川の特徴、そこでの既往事象に詳しい経験豊かな智恵者による総合判断が必須。
- 多様な(新)技術を、河川という対象に色々試してみることが大事。
- 1回や2回の検討ではなかなか成果が出ないもの。逐次的にわかるようになっていけばよい。
- 河川維持管理の必要性をわかりやすく世の中に示すことは、上記ゆえに簡単ではなく、他のインフラに比較して元々ハンディがある。

世の中に分かってもらえないね」みたいなことは半分は当たっていると思いますが、あまりこれから入ってしまうと結局、維持管理というものを進化させるということを阻害する面もあるんじゃないかと。だから、今日はなるべくこの理屈に頼らないで、川の維持管理を向上させるのにどうしたらいいかということをお考えたらどうかということ提起させてもらっています。(スライド15)

それで、そういう観点をさらに踏まえて、これが全てなのか、あるいは妥当なのかどうかは大いに議論してもらいたいんだけど、1つ目は河川の維持管理について世の中に大きなストーリーを語れるようにできないものかなと。(スライド16)

いろいろ頑張ってるってやってますというだけじゃなくて、それに照らして今、そして今後の技術的な取り組みの意義・展開と、期待できる成果、優先性を、優先性というのは川の維持管理というのはほかの分野の維持管理と同等、あるいは場合によってはそれ以上に重要なんだということですが、これらを語れるようにできないものかなという、ちょっと願望が半分入っていますが、そういうことを書いています。

それから2つ目は、その基盤として今「ストック」という言葉が非常に脚光を浴びています。それに若干乗りつつ、「積み上げてきたストック、その絶大な効果の確認、そしてその必要な積み増しはもちろんのこと、築いてきた効果の保持が非常に重要だということを確認する」ということを、河川でも大いにやれるんじゃないかという話を2つ目に書き

● スライド16

- 河川維持管理について、世の中に大きなストーリーを語れるようにできないものか？ それに照らして、現在および今後の技術取り組みの意義・展開と期待できる成果、優先性を語れるようにできないか？
- その基盤として、「積み上げてきたストック、その絶大な効果の確認→その必要な積み増しはもちろん、築いてきた効果の保持が非常に重要(国民にとって)」を言う・示す。
- 維持管理のおかげで達成されるものが、国民に対し具体的にわかりやすく提示されないと、そしてまた、携わる管理者や技術者の間で課題と目標が共有されないと、維持管理の技術展開の十分な推進力が出ないのでは？



ました。

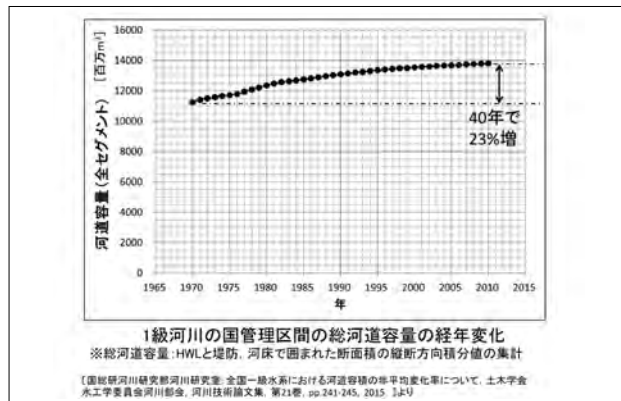
それで、その背後にある考えとしては、「維持管理のおかげで達成されるものが、国民に対して具体的に分かりやすく提示されないと、そしてまた管理者、あるいは技術者の間で課題と目標が共有されないと、努力してもそれが何のためになっているかを明確に伝えられるようにならないと、その技術というものはどうしても発展という意味では弱くなってしまふんじゃないか」と、そこをちょっと心配して、あえてそういうことを書きました。

それで、決して地道にやることを否定しているわけではないんですが、それだけで勝負できるような時代じゃないんじゃないかということ、あえて今日は議題として提供しています。

それでストックの話ですが、これは河川研で全国の各河川のH.W.L.以下の河道の容積を1970年から2010年の40年間、全部集計したものです。(スライド17)

1級河川の国管理区間の総河道容量で、138億 $m^3$

● スライド17



ぐらいになりました。それで、増加がすごく大事で、もちろん砂利採取もありますが、河道の治水のための掘削、その他、もろもろの努力が全部込みになって、40年間で23%増えています。トータルですから、個々の川はいろいろありますが、マクロで見たときにこれだけの容量を増やしたということすごいです。

実際にはこれにダムも加わっています。ダムの容量も非公式に調べてみましたが、すごい勢いでダムの治水容量が伸びています。それだけの容量が治水のための、意味が違いますが、流下能力という意味では河道の容積がこれだけ拡大してきている。それでピークカットという意味では、ダムの容量も増えてきている。すごい努力をしてきているということです。

それで、これにどういう意味があるか。ここから先はかなり簡単な計算になってしまうんですが、もう今日は細かい議論はしないので、掴みで行くと、等流計算をしてしまう。(スライド18)

まず水理学を使えば、流量と水深との関係が出て来ます。この一番下のです。水理学で流量と水深の関係。それで、水文流出計算で流量と雨との関係。それで水文統計で雨と超過確率の関係が出ます。これらをただくっ付けるだけなんです。それで一番最初の水深と最後の確率をくっつけますと、こういう式になります。

つまり、水深が増えるとどのぐらい降雨確率が増えるか。つまり、容量が大きくなるのでより多くの

水を流せますから、それに対応する降雨量も増えるので、その生起確率は減る。そうすると当然、氾濫の可能性が、「T」が大きくなるということは、逆数が氾濫の確率ですから、それは減るということになります。これは微分するとこんな感じで、非常に簡単な式になるというわけでありませう。

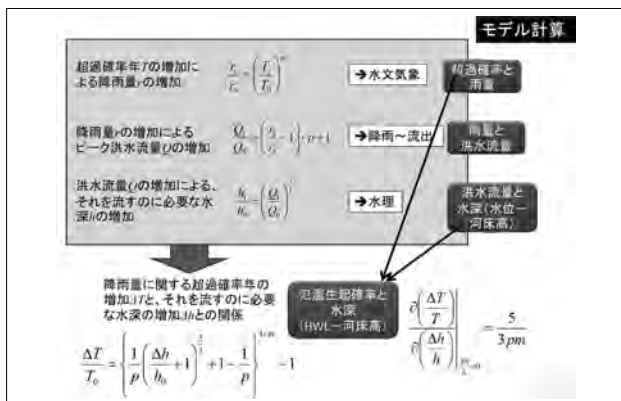
それで、こういうように水文統計から水理までを全部繋げて、最初と最後のおいしいところだけを取るとこういう式になるので、これを、横軸が元の水深に対する水深の変化分、それから縦軸が、元の超過氾濫生起確率に対するその変化率、これを書いて、それでさっきの式でやるとこうなります。(スライド19)

ここがゼロですから、 $\Delta T$ でやっているの、ここがスタートです。そうすると、こんな案配で水深の増加が確率年の増加に効くよと、こういうことあります。

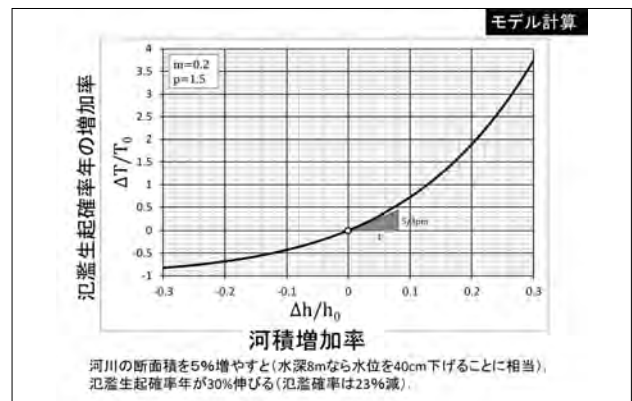
それで、ざくっとこの原点近くの勾配だけで見ますと、河川の断面積を5%増やすと、水深8mなら40cm下げることに相当ですが、氾濫生起確率年は30%伸びると。氾濫確率なら23%減ると。だから、意外に少しでも水深を増やすと、けっこう確率規模に直すと効くということですね。計算の上だけというところもあるんですが、マクロに見たらそういうことなんだろう、ということぐらいは頭に入れても損はないのかなと。

だから、ちょっと別な言い方になりますが、水深が20cm減ってどういう意味があるんだとか言いますが、そのぎりぎりのところで20cm減るということは、

● スライド18



● スライド19





それだけの貯金が、減分があるということは、確率に直すとけっこう効くよというようなことも言えなくもないと、こういうわけでありませぬ。

これは逆に言うと、堆積をさせてしまって、堆積にもいろいろあると思うので、十把一絡げに河床が上がったから全部取らなければいけないとは言いませんが、仮に問題のある堆積があったとしたら、40cm堆積したらやっぱりそれだけ逆に氾濫の可能性が増えてしまうわけですね。だから、そういう意味での土砂管理というのが、当たり前のことなんです。が、実は災害が起こる可能性に対して、けっこう敏感に効いているということぐらいは頭に置きましょうということをお願いいたします。

実は23%増やしたということは、逆に言いますと、このグラフでこの割合が23%増えればここですから、もう2.5倍ぐらい $\Delta T$ 、氾濫確率の超過年を伸ばしたということで、国土にとっての安全の資産を皆さんに与えていると、それだけ大変なことをやったということが言えなくもない。何度も言いますが、個別にはいろいろありますが、今はマクロの議論をしています。

これらを踏まえて、次のような捉え方をしてみよう。(スライド20)

河道整備で氾濫生起確率年が3~4倍に増加する。これはダムと遊水地の効果を合わせて、現時点までに築いた治水安全の資産は確固たるものがある、すごい資産がある。1970年から40年間でこれだけあるわけですから、明治以来だともっとあるわけ

です。

それで例えば河積が2%減少に当たるような河床上昇は、氾濫生起確率年を1割減じる、氾濫生起確率で言うと11%増となります。やっぱり治水資産の目減りが11%になると。それで実社会の感覚として、やっぱりリスクが1割オーダーで上がったり下がったりするというのは、やっぱりけっこう大事なことなんじゃないかなと。

例えば自動車の保険とか事故の確率を考えたときに、せっかく獲得した安全が1割目減りするとか、2割目減りするというのは、やっぱりそれなりなことなんじゃないのというようなことを考えると、H.W.L.より $\Delta h$ (河積2%相当)低い水位での破堤が生じるようであれば、同じように安全資産が減損したと言ってもいいんじゃないかというようなことを、ちょっと無理な面もありますが、書いてみました。

言われてみればとても常識的で当たり前のことなんです。何のために河積の管理をしているか、ひいては何のために土砂管理をしているかということが、少なくともある局面においてはせっかく営々と築いてきた堤内地の安全度が1割、2割減損することをちゃんと防ぐような行為であれば、これは大変なことなんだという理屈を再確認してもいいんじゃないかと。

それで最近、幾つかの現場で議論になっているように、内水被害を減らすという意味では単にH.W.L.の議論だけじゃなくて、支川の流入ができるようにHQが下がるということはすごく意味があるということも最近随分出てきています。ということは、この議論は何も大河川自身に起因する氾濫だけじゃなくて、内水に対してはもうちょっとスライドさせて、それでやっぱり水位が低いということはいかに地域に大きな貢献をしているかということに当然つながるといえるようなことにも翻訳できる。

というわけで、「維持管理は積み上げてきた治水安全資産を減損させないための非常に重要な営為」ということを、もう少し強調し、確認し、こういう

● スライド20

大きくは、次のような捉え方をしてみる

- ・ 河道整備で、氾濫生起確率年が3~4倍に増加  
→(ダム、遊水地の効果と合わせ)現時点までの築いた治水安全の資産が確かなものとしてある。
  - ・ たとえば、河積2%減に当たる河床上昇は、氾濫生起確率年を1割減じる→氾濫確率11%増→治水安全資産の減損(被害期待値11%増)。
  - ・ HWLより $\Delta h$ (河積2%相当)低い水位での破堤が生じるようであれば、同様の資産減損。
- ※上記は内水被害軽減の局面にもスライド適用できる構図

➡ 維持管理は、積み上げてきた治水安全資産を減損させないための、非常に重要な営為



重要な目的に対して今の技術体系がきちんと整然となっているかということを確認するようなことが、議論を活性化するひとつのきっかけにならないかなという図です。

それで、ここから先は逆に言うと当たり前のことなんですが、となれば、維持管理が目指すものは、突き詰めれば次の3つかなと。(スライド21)

「a.計画高水位以下の流水の通常的作用による破堤氾濫を起こさせないこと」。もちろん、最近の大きな雨の降り方が変わってきた中で、H.W.L.を超えたときの危機管理、これは非常に重要です。ただ、今日はその議論までですとごちゃごちゃになってしまうので、今の理屈の中で少なくとも計画高水位まではもたせられるはずのものが破堤氾濫してしまうということであれば、これはやっぱり資産の減損になるんだから、それは特別にしっかりやるというのが「a」だと。

それから「不適切」という言葉をつけているのはちょっと微妙ではありますが、「b.流下能力の不適切な減損を起こさせないこと」。せっかく獲得したものをいたずらに目減りさせないということも非常に重要だと。

それから「c.上記aとbを実行するために、過度な国民負担が生じる状況とならないこと」。これはやっぱり維持管理に非常に難渋するような、そういう治水システムを絶対に作ってはいけないということ。この「a・b・c」が、突き詰めると、何か3つ挙げると言われたらこういうことなのかなということ

を、ひとつの整理の案として書いてみました。

それで、技術の進展には目標がすごく大事だと思うので、どれぐらいのことなら大ごとなのかということの閾値の感覚はすごく大事だと思います。これはいろいろな議論があると思いますが、あえて今日の議論のために書いているんですが、やっぱり氾濫確率が1割、2割増えるということが、実社会に非常に影響があるとするならば、河積の数%というのは決して軽視してはいけないんじゃないかなと。

それぐらい川の中の状態をしっかりと見るというような閾値の感覚を持って河川管理に当たるということは、スタートラインとしてはあってもいいのではないかということを考えました。それで今、先ほどちょっと言いましたが、これらの目標にもろもろの取り組みが整合的に向かう状況になっているだろうかという、そのあたりをもう一回おおいに議論したらいいのかなというのが、このスライドの意味であります。

それで、ここから先はそういう少し全体像の話とか、いろいろあるのは分かっている、どれもこれも大事なんだけど、その中でもあえて何が一番大事かということ挙げるとすればこうなんじゃないかなみたいなことをあえて言って、それで少なくともいろいろな技術の進展がそういう大事なものに対して正面からそれを改善するように向いていないことには、他のいろいろなことをやっていると言っても、やっぱり説得力がないよねということをあえて案として整理する。そうすると、技術進展において真っ当

● スライド21

となれば、維持管理が目指すものは  
突き詰めれば次の3つに集約できるのでは？

- a. 計画高水位以下の流水の通常的作用による破堤氾濫を起こさせないこと
- b. 流下能力の不適切な減損を起こさせないこと
- c. 上記aとbを実行するために過度な国民負担が生じる状況とならないこと

※管理ターゲットとなる“減損”の度合いは、氾濫確率の有意な増加に対応するレベル →例えば「河積数%相当」か？  
→技術の進展には具体的目標(気にするかどうかの閾値)が大事では？！

※これらの目標に諸取り組みが整合的に向かう状況をつくること

● スライド22

「a.計画高水位以下の流水の通常的作用による破堤氾濫を起こさせないこと」を洪水による洗掘・侵食に起因する破堤について考える。  
→計画高水位以下の様々な洪水生起を想定したとき、破堤氾濫が起こるかどうかを、今の技術でどこまで予測できるか？

- i. 今までの取り組みを通じて達成できたこと、できていないこと、その未解決課題の位置づけの整理
- ii. 上記に関連して、個々の技術パートの役割・位置づけの整理
- iii. 上記に関連して、個々の技術の評価(できたこと、できないこと、具体的課題と解決の見通し)、共有化
- iv. 上記に関連して、これからの技術開発に際しての目標と評価軸の整理・共有化→ニーズとシーズのマッチング(≠技術分野の提示)
- v. その上で、あれもこれもではなく、高い優先度を持つ目標達成のための技術を着実に実装するというアプローチ

→こうした全体像がどこまで描けているか？

な方向にもものが進んでいるかどうかという確認が具体的に重要になるということです。

実は、これについては服部室長に、今これをどこまでできているか、後でプレゼンしてほしいという難しい宿題を出しています。(スライド22)

それで、『「a.計画高水位以下の流水の通常的作用による破堤氾濫を起こさせないこと』を、洪水流による洗掘・侵食に起因する破堤について考える」。「計画高水位以下の様々な洪水生起を想定したときに、破堤氾濫が起こるかどうかを今の技術でどこまで予測できるんですか」と。

つまり、「来年、H.W.L.マイナス50cmが出たときに、現在のある河川の一連区間で洗掘や侵食による破堤は起きないという自信がありますか」とか、「起こるとしたらどういったシナリオが考えられますか、その可能性、確率はどうなんですか、それを防ぐ手立てはありますか」みたいなことが今の技術でどれぐらいいちゃんと言えるのか。言えるとなると責任問題と絡んでくるので、あくまでも技術的な今の相場感とか、今後の何を技術として詰めなければいけないかという問題提起で言っているんだけど、そういう目から、技術的に次の突破をする上で何が重要なのかなということを、もうちょっと皆で議論するということが大事かなということで、言うは易しの問いではあるんだけど、書いてみました。

その中で、先ほど河川は古くて新しい課題になりがちだという話をしましたが、今までの取り組みでできたこと・できないことをちゃんと整理できていますかと。洗掘、侵食、河床変動計算、二次元計算、三次元計算、いろいろありますが、それができていますか。それから個々の技術の位置づけをちゃんと整理できていますか、ばらばらになっていませんか。それから評価がちゃんとできていますか。つまり、新しい技術を開発するとき、こういうものが欲しいんですよ、というその評価軸を明確に言えていますか、共有化できていますか、と。

それから第1回の安原さんにコーディネートをいただいたときに、いろいろな意欲的な技術開発の議論

がありました。ああいう意欲的な技術開発が生きた成果になるためには、なおのことニーズとシーズのマッチングがこういうものをベースにちゃんと整理されていないといけないと思うんですね。

あるいはスタートはいいんだけど、いろいろな議論をしているうちにこういうものが活発にやられるようにならないといけない、これがちゃんとできていますか。決してニーズとシーズのマッチングというのはこういう分野が大事ですと言うだけではダメなんですね。このマッチングを図るということは、ノットイコール技術分野の提示なので、もっとそれを越えたマッチングの議論がきちんと統括的に提示できるといいよね、と。

それと、あれもこれもでなくて、そういうものを踏まえて、「今はやっぱりこれがすごく重要だ、これができる、このように実装して、こういうところが一歩進むよね」というストーリーがあると格好いいねという話です。けっこう言うは易しなので、そんなに簡単にいかないことは分かっているんですが、こういうことぐらい何かできたらいいよねということの中で、今との距離感を測るというのは重要ではないかという意味で、あえて書きました。

それで同じことを、高水位による浸透についてどれぐらい言えるのかというのを、佐々木さんにちょっと何か考えてよと無理矢理お願いしてしまいましたので、半分怖いんですが、楽しみにしています。よろしくお願いします。

それで次に「c.上記aとbを実行するために、過度

● スライド23

「c. 上記a.とb.を実行するために過度な国民負担が生じる状況とならないこと。」について考える。

i. 負担が生じる構図の整理。

ii. その定量的表現法の整理。

iii. 隘路、課題解決の優先度の整理。

→例えば、要件b.の担保に着目して、「堆積土砂管理」「植生管理」について、どこまで整理できているか？

✓「たまたま掘れば良い」「生えたら伐れば良い」への答えは？

✓必要な技術やマネジメントの開発・適用の度合い(思いつきの投入)

な国民負担が生じる状況とならないこと」ですね。(スライド23)

これはいろいろな着眼点があるんですけど、やっぱりこれは服部さんに少し考えてほしいと言ったんですが、堆積土砂管理ですね。

要するにこれは「溜まったら掘ればいい」とか、「生えたら刈ればいいでしょう」と、よく分野外の人から言われてしまうんですね。これで済む場合と、済まない場合、これは明確にしないと、いつまでもすごく一生懸命にやっているのに、「これでいいんじゃないの」と言われてしまうと元気が出なくなるので、何と言うか、「持続性」という訳の分かったような言葉じゃなくて、これを続けているとちょっと国としてやばいぜという話が、河川の維持管理の問題でちゃんと提起できているか、規定できているか。土砂管理というお題目はいいんだけど、問題提起がなくて、ただ管理が大事だと言っているだけでは、何を解決しようとしている管理なのかさっぱり見えない。こういう管理をいつまでもしてはまずいので、このあたりの突破口について後でお話をいただければありがたいと思います。

いろいろ言いましたが、まあ、けっこう難しいんだろうなと。そうすると、あえてちょっとすかさずような議論になってしまうんだけど、王道でやるべき技術をちゃんと詰めるというのはいいんだけど、無理がもしかしたらあるかもしれない。そうすると、少し局面転換を図って、そもそもフレームを変えるというような発想の転換もあっていいのかなと。こ

の辺はちょっと皆さんはどうお考えになるか、また議論ができたらいかなど。以上の議論を踏まえて、実現すべき状況を見据え、従来の技術体系を、むしろフレームから変えてしまった方がいいんじゃないの。(スライド24)

例えば、「弱点箇所が事前に高精度で分かる」、これを実現すべきだというのは本当なのか。本当にこれができるのか。もしこれに限界があるという立場に立ったら、かなりフレームは変わってしまうんじゃないか。それについてどう考えるべきか。もしかしたら、リアルタイムに何が起きているかという実堤防の変状の情報に非常にいろいろなヒントがあるんじゃないかとか。

それから、ここは技術屋としてはあまり言いたくない面もありますが、なかなか分からない領域というのはどうしてもある。では、そういう未経験ゾーンのようなものをちゃんと認めた上で、それを全体の技術体系の中に位置づけるみたいなことはないだろうかとか、不確実性をむしろ積極的になくす方策があるとか、何が言いたいかという、単一な方法でただ押し通すだけじゃ芸がなくて、少し性格の違う系列をうまく重ね合わせるような、そういうちょっと持って回ったような話ですけども、そういう戦略みたいなものがもうちょっと意識的に、個々にはあるのかもしれないですが、あってもいいんじゃないかなということのひとつの切り口に、何か新しいフレームってないんだろうか、いつまでもこの道一筋でいいんだろうか、というようなことを

● スライド24

以上の議論を踏まえ、実現すべき状況を見据え、従来の技術体系において、根本的革新(考え方・フレームの転換)を図るべきところはないか？

たとえば(堤防を主眼に)：

- 「弱点箇所が事前に高精度でわかるようになる、そうすべき」の捉え方
- 事象最中の変状(“実反応”)→より一層の把握・活用
- “わからない領域”(未経験ゾーン)の明確化と活用(方策への組み込み)
- 不確実性を無くす積極策
- 異種系列の方策のシームレスな重合(意図の一層の明確化)→事前対策と水防活動との橋渡しの技術的強化
- 従来の個々の取り組みの再吟味、新しい取り組み案をまじえてのシャッフル検討(技術的論理性で整理したらどうなるか?)

● スライド25

「臨床例」のストック・共有化について

- 地道に行うべきは、個々(パーツ)の技術検討の記録作成と言うよりも、最後の判断につなげるまでの実地検討を行った結果の吟味・共有知見化ではないか？
- 河川維持管理に関する「臨床例(個々の技術適用結果報告ではなく、患者(河川維持管理の課題)がどうなったか?)」をストックする。
- 個々の技術パートの評価・進化は、その中でこそ実体的に行えるのでは？

ちょっとここで提起しました。

これが最後ですが、「臨床例」という言い方はなんですが、これは橋梁の専門家の話を聞いていて面白いなと思ったんですが、病理学というのはすごく進んでいると。(スライド25)

つまり、これが原因で腐食したとか、こういう腐食の要因があるんだけど、結局、臨床例が少ないと。つまり、こういう原因を究明して、こういう方法で診断して、こういう方法で状況を見て、こういう判断をして、こういう補修をして、そうしたら患者がこれぐらい良くなった。でも事後にこういう症状が出ているという、臨床例をベースにしたような技術の評価みたいなものが、これから大事になるんじゃないかという話を聞いて、これは河川についてもけっこうあてはまるんじゃないかなと。

個々の方法が良い、悪いという話じゃなくて、最後に一番肝心の、先ほどの議論でいくと、堤防が切れる可能性がどのくらいあるのか。それが危険なレベルまでになっているとしたら、それをどのように事前に改善するのか。それをやれたとしたら、それはどういう技術が役に立ち、どういう判断方法が役に立ち、逆にどういう技術が意外に役に立たなかつ

たのか。しかし、それはこのケースだから役に立たなかったのであって、一般的にはこういうことが言えるんじゃないかみたいな、最後に現場の判断につながった事例について、それを軸にしていろいろな技術の評価をもう一回吟味する、そしてそれを共有化するような、そういったものがもう少しないと、どうしても個々の手法のためのいろいろな検討だけになってしまって、最後に一番大事なものの判断、それから実践したところがよかったかどうかを中心に据えないというのが、ちょっと気合が入りにくいんじゃないかなと思って、こういうようなことを意識的にしょっちゅう出し合いながら議論するということができないものかなということを考えました。

安原さんを初め皆さん、自分の講演の中のを大いに活用してもらっていいんですが、少しこれに上書きをするような知見を、あるいはご意見をいただきながら、皆さんとの議論も含めて後半のパネルディスカッションの充実につなげていきたいと考えております。とりあえず、前半の私の講演は以上で終わらせていただきます。どうもご清聴ありがとうございました。(拍手)

## 〈全体討論〉 「これからの河川維持管理のあり方について」

### パネリスト

国土技術政策総合研究所 研究総務官

**藤田 光一氏**

国土技術政策総合研究所 河川研究部長

**鳥居 謙一氏**

国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室長

**服部 敦氏**

(公財) 河川財団 河川総合研究所 戦略的維持管理研究所長

**安原 達**

(国研) 土木研究所 土質・振動チーム 上席研究員

**佐々木 哲也氏**

藤田 では引き続きよろしく申し上げます。大体のストーリー、シナリオとして4つぐらいに分けて議論を進行していきたいと思っております。

まず最初に、あくまで今日の議論のための課題設定ではあるんですが、私の資料で言うところの16ページ~23ページぐらいにかけて、もう当然のことも入っていますが、少しこういうところに意識を置いて河川の維持管理の次なる展開を考えていったらどうかという提示をさせていただきました。

ちょっと18ページ(スライド1)の説明だけ飛ばしてしまったんですが、これは簡単に言いますと、「ポンプ」というのは本物のポンプの話ではなくて、要するにもろもろの治水事業によって自然状態であれば、自然の河道というのは3分の1ぐらいの氾濫確率を持っているので、それが例えば50分の1ぐ

らいに小さくなっていると。ただ、これはただ単に自然体でなっているわけではなくて、相当の努力を持ってこれだけ確率を抑えているのであって、このポンプがちょっとでも故障してしまうとやっぱりこれがすぐに太ってしまう。太るということは氾濫確率が上がるというような意識をもう少し持って、この資産をどのように守るかということ意識するための図でありました。

それで、それも含めまして第1回到安原さんと永矢さんの話もあったのかな、「フォルトツリー (FT)」という話があって、私が見るところ、結局、破堤というものにつながる事象が非常に重要である、それを体系的に押さえることが一番大事なんじゃないかということが、たぶん原点にあったのかなと思っていて、あえてもっと言いますと、個々のいろいろな



#### ● スライド1

治水整備によって、そうでなければ堤内地にばらまかれるリスクを、河川がいかに吸収してくれているか？

イメージ図

自然状態の氾濫生起確率1/3

リスク吸収ポンプ(堤防、遊水地、ダム、改修された河道、放水路、適切なオペレーションなど)

ポンプのメンテナンスを怠ると、この種別のリスクも急激に増大する。本邦のポンプは「壊れやすさ」が著しく、緊急時のメンテナンスが困難な場合がある。

インフラによるリスク削減

吸収後の氾濫生起確率1/50

- リスク吸収ポンプのメンテナンスを怠ると、吸収能が低下し、吸収後リスクが増大する可能性がある。
- ゆえに、ポンプのメンテナンスは非常に重要。→状況によってはリスクが2割のオーダーで増えてもおかしくない(メンテナンスの良否はそれぐらいの影響を持つ)。
- ポンプ自体の性能を段階的に向上させ、最終的には吸収後の氾濫生起確率が1/200レベルまで低下するポンプを整備する。
- 我々の社会が抱えるリスクは、ポンプによって大きな変数が無いレベルに抑えられている。→ポンプの存在・働きを認識しておくべき。

※説明を簡潔にするため、ここでは、リスク(大ざっぱな記述法)や生起確率だけを取り上げている。被害種別の観点も対象にして検討すべきことに留意。

維持メンテの行為、それぞれに同等に重要性があるのではなくて、最後は起こってはならない破堤を防ぐということに集約するというのを、もうちょっとしっかり取り組もうということなのかなと思ったものですから、私が提示したような整理に対するご意見も踏まえながら、FTの考え方の再確認とか、今日の議論のフレームについて安原さんを中心に解説をいただけるとありがたいと思いますが、いかがでしょうか。

安原 それではFTを中心としまして概要を説明させていただきます。

第1回の河川研究セミナーにご出席された方もおられると思いますが、特に計測技術が進展しており、どのように状態把握実務、詳しくは点検に使われていくのかという議論をさせていただきました。

その際には、河川管理側としてどういうことを分かって、どういう判断をする、という、ニーズがあって、それぞれの技術の必要性というものが整理されていくものだと思います。ですから、河川管理実務とはどういうものをまず記述することが前提となるという発表をしました。

河川の維持管理の特殊性とか、経験はどういうことなのかということを読得力ある説明をしなければいけないという問題意識です。(スライド2)

そういう中で維持管理の特殊性として考えられるものをいくつかここに記載しております、1つはシステムとして捉えるということです。しかしながら、河川管理者はそれらの知識をあわせ持って管理をしなければならないということです。そういうことでさまざまな構造物を俯瞰して、それらをシステムとして捉えるということが、具体的にどういふことなのかを具体的に提示する必要があるだろうということです。

あともう1つは、先ほどの研究総務官のお話ともかなり近い面もありますが、維持管理の本質は、壊れ方をどのようにコントロールするのか、または計画するのかということではないかと思っております、ただ、壊れ方というと構造物にしか適用できま

せんので、河道の場合には状態の変化、好ましくない状態、それに対して目標を掲げて、何を見て、どういう対応していくのかということを体系的に捉えていくということ。

次に、その中で評価・予測の不確かさがあるということも踏まえる必要があります。

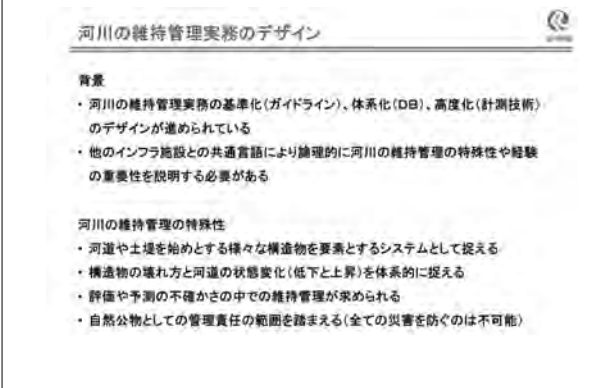
最後に、これは先ほどの藤田総務官の話ですと、あまりそこはということでしたが、自然構造物でありますので、全てが管理で賄えるのかと言うと、そうでない部分もありますので、その境界領域をちゃんと明らかにした方がいいということです。

こちらは機能、先ほどの話にもありましたように、これまで整備した機能を維持していくということですが、その際にある程度、機能が低下することを前提に織り込んで、逆に維持管理計画のようなものの中では、どこまでの機能低下を許容するのかとか、目標を持っていくという視点が大事なんだろうと考えています。

その際に、私は信頼性工学の分野から適用できる整理の仕方はないかとアプローチをしたわけですが、こちらにありますように劣化というのは徐々に進行して進んでいくというように捉えるのが普通で、機能低下が微小な初期から進行してやがて機能が喪失すると、このように捉えられます。(スライド3)

しかしながら、河川の場合にはそのように徐々に進行するものもありますが、ほとんどのこれまでの災害というのはそこで災害が起きるということを振

#### ● スライド2



河川の維持管理実務のデザイン

背景

- ・ 河川の維持管理実務の標準化(ガイドライン)、体系化(DB)、高度化(計測技術)のデザインが進められている
- ・ 他のインフラ施設との共通言語により論理的に河川の維持管理の特殊性や経験の重要性を説明する必要がある

河川の維持管理の特殊性

- ・ 河道や土壌を始めとする様々な構造物を要素とするシステムとして捉える
- ・ 構造物の壊れ方と河道の状態変化(低下と上昇)を体系的に捉える
- ・ 評価や予測の不確かさの中での維持管理が求められる
- ・ 自然公物としての管理責任の範囲を踏まえる(全ての災害を防ぐのは不可能)

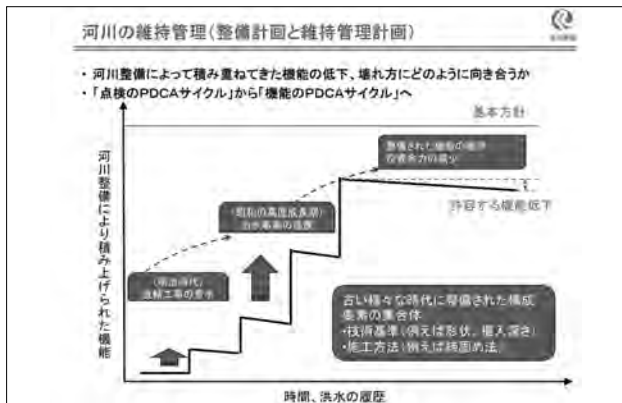
り返ってみて予測できるようなものではなく、突然起きてしまったというようなものではないかと。そういう意味では少しずつ変状が進行し、壊れていくという現象ではなく、それを「突発性」という言葉で表現しました。(スライド4)

そのように幾つかの壊れ方、好ましくない状態をまず定義する。それらがどのように機能低下していくのかというのを全部体系的に整理していこうと。このようなことで、対象とする機能低下のメカニズムをここにありますように17通りに整理をしてみたということです。(スライド5)

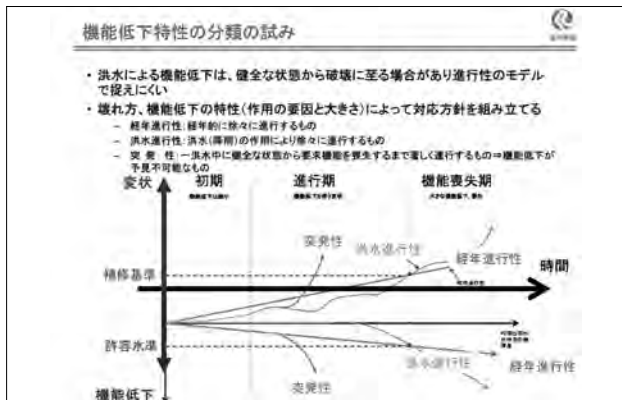
河道については流下能力、または著しい偏流が発達するような状態、そういうものは好ましくないものとして維持管理をしているということ。堤防については侵食、浸透、すべりという破壊モードで壊れるということです。

このような整理をFT図にまとめたものがこちらです。(スライド6)

● スライド3



● スライド4



右の方に堤防(土堤本体)、左の上の方が堤防の護岸、左下の方が河道です。

縦のラインが先ほどの機能低下のメカニズムということで整理したものでございまして、右の方、堤防だけで壊れていく現象としては浸透やすべりが位置づけられております。その堤防の壊れるところに、左側の護岸から入ってきているものが侵食系の壊れ方ということになります。続いて護岸の壊れ方も吸い出しによるものとか、局所洗掘によるものなど、いろいろなものがありますので、代表的なものを並べてみたということです。それらの壊れ方が河道の偏流に起因するものであれば、その下の河道の状態変化から繋がっていくことを表しております。

FT図は皆さんもご存じの通り、頂上事象を好ましくない破壊現象で整理するというですので、この整理をしてみますと左上に越水が一番頂上に据えられ、右の上の方に土堤が壊れ被害をもたらすという、頂上事象としてはこの2つに集約されるということです。

あともう1つ、FT図では、変状を四角で囲み、変状を起こしやすい要因等を一番下に丸で表すのですが、この整理をしてみますと、河川の維持管理の特殊性というのをある程度は説明できるのではないかと、このように考えております。

何が言いたいかということ、まず(スライド7)今まで皆さんが維持管理でやっていたことの、対象範囲がどこなのかというのを明確にすることができません。変状、それからそのメカニズム、そのあたりの

● スライド5

システム	構成要素	部材	機能喪失による現象	機能低下のメカニズム	機能低下の分類		
河川	河道	流水		1-1 土砂堆積による流下能力低下	「洪水」進行性		
				1-2 樹木繁茂による流下能力低下	「経年」進行性		
				1-3 河川横断構造・地周辺の河床不安定性低下	「経年」/「洪水」進行性(突発性の場合あり)		
		浸透				1-4 構造物による構造の劣化	「洪水」進行性
						1-5 樹木による根張の発達	「経年」進行性
						1-6 砂州による偏流の発達	「洪水」進行性
						1-7 浸透部・台地帯における偏流の発達	「洪水」進行性
堤防	土堤本体			2-1 越流水による堤体の埋没不安定性低下	「経年」/「洪水」進行性(突発性の場合あり)		
				2-2 堤体の浸透不安定性低下	「洪水」進行性(突発性の場合あり)		
				2-3 基礎材料の流出による堤体の不安定性低下	「洪水」/「経年」進行性		
すべり破壊				4-1 深層による堤体のすべり不安定性低下	「洪水」/「経年」進行性(突発性の場合あり)		
				護岸の破壊と高水敷の侵食	5-1 自然河岸の不安定性低下	「洪水」進行性(突発性の場合あり)	
				5-2 河床海墾による護岸の不安定性低下	「洪水」進行性(突発性の場合あり)		
				5-3 部材の剥離による護岸の不安定性低下	「洪水」進行性(突発性の場合あり)		
				5-4 部材の剥離による護岸の不安定性低下	「洪水」進行性(突発性の場合あり)		
				5-5 高水敷侵食による護岸の不安定性低下	「洪水」進行性(突発性の場合あり)		

体系を整理するという事です。

このような整理と状態を定義していきますと、今はデータベースとか、河川カルテ、そういうものが整備されておりますが、そういったものの共通言語を提供することになりますので、皆さんで同じ会話ができるようになるとか、今の状態はどこなのかというのを俯瞰することができます。また、河道、堤防、護岸などの構造物ごとに見る視点から、それらがどういように関わっているのかということのをこれで整理することができるということです。当然ですが、いろいろなものを情報を体系化する際には、そのキーとして利用することができます。

その次がひとつ申し上げたいことなんですが、点検をやるようになり、変状評価するとかそういった発想が出てまいりましたが、一番下にある、急流河川とか、湾曲部、水衝部といった「場の特性」、おそらく河川の災害が起きたりするの、その変状が起きているところでもあるんですが、場の特性上、危ないところで災害が起きたりするというのがもとの原点なのではないかと。そうすると、変状の方をすごく見るようにしているんですが、そのFT図で示されている一番下の「場の特性」を見るという、もとの原点というか、そういうところも大事な

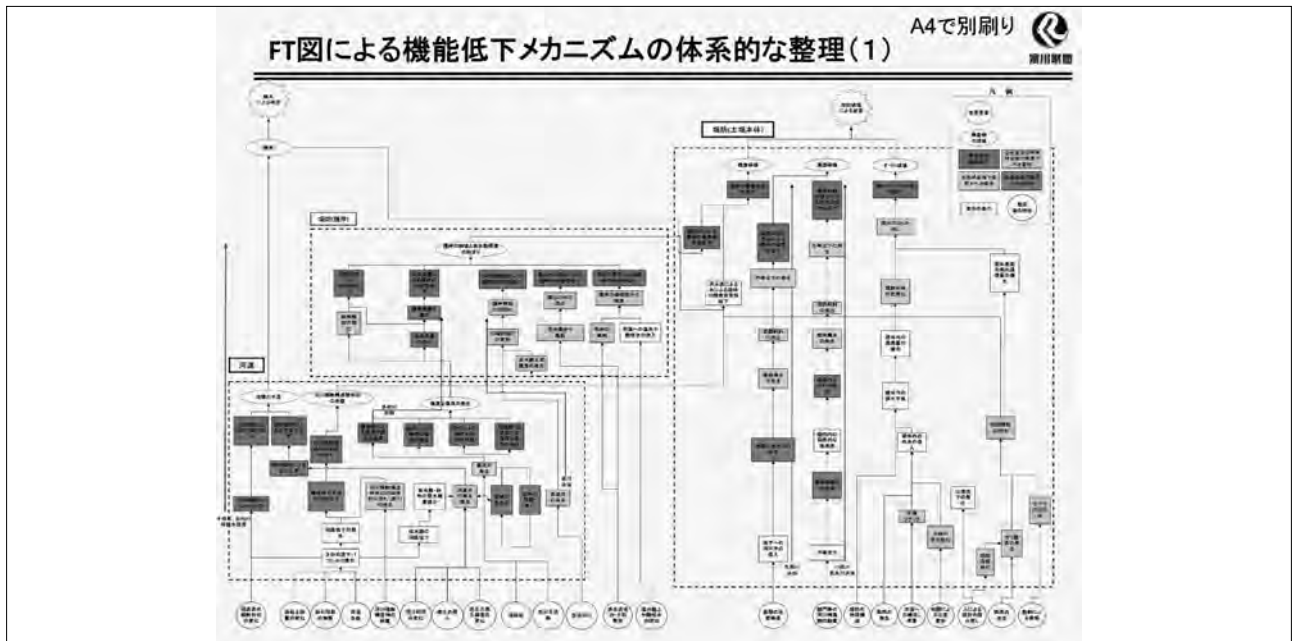
わけでありまして、「変状」と「場の特性」というのを重ね合わせて見なければならぬんじゃないかと思うのです。

言いかえれば、場の特性をある程度踏まえていれば、当然ながら被災とか変状が起こりやすいところというのはある程度イメージができてくるというようなことで、変状だけでなく場の特性を見ることの重要性を示しているということです。

あともう1つは、先ほど「突発性」とか「進行性」という言葉をあえて当てはめてみたわけですが、河川の維持管理においては変状が徐々に進んで破壊されるという、そういう捉え方では防止できない災害とか壊れ方というのが多くあると思います。そのことが先ほどのFT図の中では色分けをしておりまして、平常時の点検で分かるものと、出水時の点検で分かるものなんていうのを色分けをしてみています。

この水色のところが出水時点検で分かるものということでございまして、おそらく堤防の浸透破壊とかそういうものは壊れる寸前になって起こる変状というのが多くあるのではないかと。そういう意味で、右側の浸透系の破壊のところは全く緑のものがない縦の列というのがあるわけですね。

● スライド6





そうすると、こういうところは平常時の点検だけをやっていてもその変状を捉えるということは、無理だ、という発想が出てくる。そうすると、変状を見て手を打っていくという予防保全だけでなく、出水時にもものを見ていくという発想が出てくるということです。FT図は実務担当者にそのような視点を与えることができるということです。

それをまとめたものが次のスライドです。(スライド8) 河道の機能低下の特性としては、やや経年的だとか、徐々に進行するものとして捉えることが可能であり、そういうものについては予防保全と言うか、一つずつ対応を取って壊れる状態を避けることができるでしょう。

一方、堤防につきましては、先ほどのFT図が示しているように、洪水時に本当に厳しい状況にならないと分からない変状というものも多くありそうな気がいたします。そういう意味では「突発性」、というか、進行性としては捉えられないものについては予防保全というのは難しいということなので、状態

● スライド7

FT図による機能低下メカニズムの体系的な整理(2)

(狙い)

- 河川管理業務で対象とする機能低下とそのメカニズム、変状の体系整理(責任範囲)
- データベースや河川カルテなどにおける分類の基盤となる共通言語の提供
- システム全体像と構成要素間の関係性の俯瞰(河道、堤防、護岸の関係)

(整理の方法)

- 頂上事象—構成要素の限界状態—変状—事象
- 洪水被害—構成要素の破壊、望ましくない状態—変状—場々の特性

(考察できること)

- 体系化におけるキーとしての活用
- 変状と場の特性の区別と場の特性の重要性
  - 場の特性と変状の重ね合わせ、被災しやすい場とそれ以外の区別
- 予防保全がなじみにくい機能低下メカニズムの存在
  - 防止できない災害の存在、出水時状態監視の重要性

● スライド8

機能低下の特性と保全方針、維持管理の責任範囲

- 機能低下の進行特性や構造物ごとの要求機能を踏まえた対応方針(予防保全、状態監視保全、事後保全)
- 予防保全的対応は河道(決下能力【量】と著しい偏流【質】)

	望ましくない状態	機能低下の進行特性	保全方針	守備範囲
維持管理目標内	河道 決下能力 著しい偏流	経年または洪水に伴い徐々に進行	予防	維持管理(地盤に起因)
堤防	崩壊(浸透、すべり) 破壊(侵食)	突発性(一洪水で著しく進行)	洪水時状態監視(変状が把握された場合は予防)	維持管理については、地盤が構造体でなく水防?
護岸	崩壊と高水敷き侵食の始まり	洪水に伴い徐々に進行	堤防 洪水時状態監視 低水 事後	
維持管理目標を超える災害	突発性		洪水時状態監視	水防

ここで、予防保全 機能低下を許容せず変状に対する補修を継続するもの  
事後保全 一定の機能低下を認めるもの  
洪水時状態監視保全 洪水時の急激な機能低下をモニタリングするもの

監視するという考え方を取り入れざるを得ないということになります。

一方、護岸につきましては、低水護岸は壊れても直接被害を及ぼすものではございません。そういう意味では低水護岸が壊れても直接赤になるようなものはないわけです。そういう意味では、低水護岸については破壊しても安全性には直結しないということで、やや管理のレベルを下げてもいいのではないかと、こういう発想ができるわけです。

ただ、護岸と言いましても堤防を防護する護岸もあります。それは堤防と同じように管理のレベルを上げなければいけません、低水護岸などはある程度は壊れてもいいだろうという考え方ができるのではないかとということです。

また、一番左のところで「維持管理目標内」ということで、恐らく維持管理をするときにどの外力に対してちゃんと健全性を保つかということで、外力との関係を整理しないとだめなのではないかというように考えておまして、維持管理を超える災害については突発性というように考えて、そういったものは水防として対応していくという考え方になるんだらうということです。

その後ろの3枚は、状態把握に有用な技術を選定する際に、河川管理者側から求められるニーズをあらわしたものでございまして、まとめて言いますと河道については連続的な河床の状態を明らかにする技術が有用ということで、レーザ測深技術が有効と結論づけられます。(スライド9)

● スライド9

状態把握・点検の方向性(河道)

- 連続的な河床の状態や洪水時の流況を把握する技術が求められる

機能低下メカニズム	注目する現象	詳細調査・分析を必要とする(「」(機能低下を伴う変状)の判定基準)	現状	方向性と課題
1-1 土砂堆積による決下能力低下	河床変動	・深さ変化、砂州移動・変形、土砂堆積がみられる	定期橋桁	超十出水後点検 連続的把握
1-2 樹木富茂による樹木敷伐状決下能力低下	樹木敷伐状況	・樹木の範囲・成長に進行がみられる	定期橋桁	定期(日常) 連続的把握
1-3 構造物の安定性低下	河床洗掘、堰工の状況	・堰床工の低下、変形、流出が発生している	定期橋桁+目標点検	超十出水後点検 不可視部分の把握
1-4 構造物による偏流	河床洗掘、高水敷検査	・進行、変化がみられる ・落ち込み洗掘の位置と対照工の位置にずれがある	定期橋桁+目標点検	超十出水時・高水時 連続的把握
1-5 樹木による崩壊可能性	崩壊樹木の繁茂状況	・樹木の範囲・成長に進行がみられる ・河床付近の洗掘、侵食、護岸崩壊の進展延伸がみられる	定期橋桁、目標点検	定期(日常)+出水時 モニタリング 水深把握
1-6 砂州による崩壊可能性	砂州の固定化、消岸付近の河床洗掘	・進行がみられる ・クランクフローによる対岸の側方洗掘がみられる	定期橋桁、目標点検	超十出水時モニタリング 出水後点検 水深把握
1-7 高水時・台風時河床付近における偏流可能性	洗掘・侵食	・進行がみられる	定期橋桁、目標点検	超十出水後点検 連続的把握

また堤防については先ほども言いましたように、通常時の変状ではなかなか予防保全ができないものについての対応というのが必要になってくるということになると、モニタリングをしていく必要があるということ。特に堤防の中の状態を調べるようなモニタリング技術が必要になるということです。(スライド10)

護岸についてはやや優先度は下がりますが、水中ですとか護岸の背面を把握できる技術というものが必要になります。(スライド11)

まとめとしまして、今回新たに追加した資料がこちらです。(スライド12)

維持管理のPDCAサイクルについてはこれまで点検を計画して、点検の結果から何かを読み取ろうということにどちらかと言うと重点が置かれていたと思いますが、そうではなくて機能が今まで整備してきた機能というものをどの程度落ちることを許容するのか、その目標を掲げて、長い時間でその機能を維持していくという、機能についてのPDCAサイクルにする必要があると。

そういう意味では、ひとつ大事なことは、どれだけの外力に対して守るのかという外力との対比でものを見ないと、健全性というのはたぶん評価ができないんじゃないか、と考えております。それは流量なのか、降雨なのか、いろいろな指標があると思います。

続いて、点検をした結果、場の特性とか、または構造物の状態、変状、いろいろなものを見なければ

● スライド10

**状態把握・点検の方向性(河道)**

・ 目視点検の効率的実施、不可視な堤防の状態を把握する技術が求められる。

機能低下メカニズム	注目する現象	詳細調査や分析を必要とする「0」(機能低下を伴う変状)の判定基準	現状	方向性と課題
2-1 懸濁水による堤体の侵食安全性	モグラ穴、わたしの発生、堤防法面の植栽化	・進行がみられる	※ 水防による対応	目視点検 出水後点検+重点箇所での出水時モニタリング 不可視部分
2-2 堤体の侵食安定性低下	天漏・法面の変状	・変状がみられる	定期点検、目視点検	
3-1 基礎材料の流出による堤体の安定性低下(浸食)	漏水・土砂流出	・漏水・土砂流出がみられる	目視点検	
3-2 基礎材料の流出による堤体の安定性低下(陥没)	噴砂跡	・噴砂跡がみられる		
3-2 堤体材料の流出による堤体の安定性低下(陥没)	陥没	・陥没が10cm以上ある	目視点検	
3-2 堤体材料の流出による堤体の安定性低下(漏水)	漏水・土砂流出	・漏水・土砂流出がみられる		
4-3 浸食による堤体のより安定性堤体全体低下	天漏跡の貫通ひび割れがみられる 川表・川裏の堤脚部が崩壊に比べ浸潤 川裏で漏水が発生している ・堤体のほらみ出し、亀裂、沈下、陥没がみられる	・天漏跡の貫通ひび割れがみられる	定期点検、目視点検	

なりません。そこがたぶん総合評価になってくる、ここが非常に難しいところなんじゃないかというようなことです。その上で、恐らくその結果を踏まえて、維持管理と水防によって守備範囲を区分して対応していくということになります。

それで、その守備範囲と機能低下の特性から、どういう保全方針を維持管理としてやっていくのかということを決めていきます。そうすると、その方針に基づいて今後は点検をやっていくということになります。当然ながら被災し易いところは入念にやっ、弱部のところは入念にやっ、そうでないところは少し下げるといようなことになっていくんだろうということです。

そのようなことで出水期中の供用をしながら河川の維持管理のPDCAサイクルとなっていくのではないかと思います。

藤田 ありがとうございます。特に最後のところで、維持管理のメインを機能評価、機能の把握ということを軸にしていくというお話がありました。そ

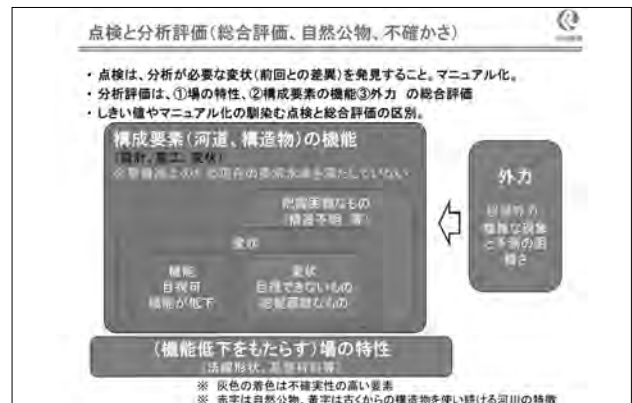
● スライド11

**状態把握・点検の方向性(護岸)**

・ 不可視部分(水中、護岸背面)の状態を把握する技術が求められる

機能低下メカニズム	注目する現象	詳細調査や分析を必要とする「0」(機能低下を伴う変状)の判定基準	現状	方向性と課題
1-1 自然河岸の安定性低下	河岸侵食	・進行がみられる	定期点検、目視点検	総(重要な場合出水後) 定期的把握
2-2 河床沈下による護岸水護岸前部の安定性低下	護岸の変状、漏水	・変状がみられる ・漏水がみられる	目視点検	総(重要な場合出水後) 不可視部分(水中)
2-3 護岸の材質による護岸の安定性低下	護岸の変状	・変状の拡大がみられる		総(重要な場合出水後) 不可視部分(護岸背面)
2-4 部材の変質による護岸の安定性低下	部材の変質	・変状の拡大がみられる	目視点検	総(重要な場合出水後) 不可視部分(護岸背面)
2-5 高水敷侵食による護岸の安定性低下	高水敷の侵食、根元護岸近傍の侵食	・天漏工や重層工天漏の露出、変状の拡大がみられる		総(重要な場合出水後)

● スライド12





これは、何かを調べることをベースにするのではなく、この河道が今どういう災害を受ける危険があるか、その機能がどう低下しているのかということをもベースに、そこから全部解き起こしていきたいという話があって、それはたぶん今日の私の提示の話ともかなり共通していて、そういう方向に持って行きたいねというひとつの方向だと思います。

それで一方で、しかし取り組み、例えば芝生の状態を調べるとか、洗掘の状況を調べるという行為を規定するのは比較的簡単なんですけど、やっぱり機能を定量的にはっきりさせるというのは技術的にはけっこう難しいところがあるので、それがどれぐらいできるかということは当然の如くそこについてくる大きな課題なのかなということも感じまして、それをこの後に、服部室長とか、佐々木上席の方から、では、それをどれぐらい今できるんだろうかという話に少し繋げたらいいのかなと思いました。

それで1点だけ、河川の特徴として、例えば道路だったら大体毎日同じようなすごい重量のものが来ますので、外力的にはもし機能が落ちていたらもう今からやばいかもしれないというわけですね。河川の場合には、今お話の中にチラッとあったんですが、どういう外力のものをどれぐらい重みを持って受け止めるかという、そここのところがもうワンクッションあるよねと。仮に今、流下能力的にちょっと議論があっても、来年、計画高水が来るとか限らないという議論があるんですね。

その辺をどう考えるべきかというのは、この機能に着目する場合にやっぱりその整理は不可避で、そ

こをしっかりと整理しないことには、せっかくの議論がまた中途半端に終わってしまうんじゃないかということがすごく大事で、逆に、これを厳しくし過ぎて、計画高水が来たときを想定して、そこで完璧に防御するんだとやるとすごくレベルの高い話になるし、かと言って来年来るとは限らないから、そこそこでいいという、そこを曖昧にするとあまり気合いが入らないという、その辺の論点なのかなと。

本省の時岡さん、維持管理において外力のレベルをどう考えるか。もちろん超過してしまえば、これはまた別の議論だからあれですが、H.W.L.までの間でその辺をどうのように考えていくかというのは、何か現時点で本省としての議論の整理とか何かありませんでしょうか。

時岡 答えから言うと、今はどの水準で維持管理するかという指標がない状況です。それで実際問題から言うと、維持管理は危機管理と一対なものですから、最悪を想定してという形になりますので、どうしても整備計画、計画流量が来たときにどうするかというところが議論のスタートとなります。

しかしながら、すぐに対応はできないので、仮に変状がある、何か支障があったというようなことが分かっている場合には、ここまではこれで対応できる、もう一つの方は、先ほど「水防」という言葉がありましたけど、危機管理対策でどういうところでカバーするかというところが今の現実だと思います。まずは最悪を想定してできること、できない場合にはソフト的なところでフェイルセーフか何かできるかというところが現実だと思います。

そこで若干話は変わりますが、原子力関係の方々から聞いた講演で、その方は日本の原子力の技術者の方だったのですが、日本には原子力関係の当初設計の技術基準が1つしかない。それが非常に厳しい。何か変状を見つけたときに、その基準しかなければ100%に直すしか判断がない。ところが米国は当初設計の基準と一緒に、メンテナンスの基準がある。言いかえれば、当初設計の安全率は「1.2」とかを目標としていると。ところがメンテナンスの際には

「1.1」 ぐらいの安全率になれば直す、みたいところで、先ほど言ったマージンというか、幅がある。当初設計はそこだけでも、メンテナンスではそこまで来たら元に戻すという基準、つまり当初の目標と維持管理の2つの水準があれば、先ほどの外力とか、どうなれば直すかという大きな判断の基準とか、そういうことに使えるのかなということを感じました。

藤田 ちょっと難しい、うまく伝わるかどうかわからないんだけど、だからたぶん安原さんの提示されたものは、もうちょっと判断を定量的な方向、それから機能本位、つまり一番国民にとって心配な事象をどう防ぐかということにやっぱり立脚して、いろいろな行為の位置付けを考えようということだと思うんですね。そのときに今の外力のレベルの話が出てきて、そこは河川管理がすごく難しく、あまりそこをピシッとやると、今の原子力の話のようになってしまう。

そのときに、だからと言ってそこをフワッとし過ぎると結局はまた元に戻って、取り組みが基本みたいになってしまっていて、ついつい誤解して、取り組みをすることが最終目的だという世界に戻ってしまってももったいないので、変なふうに厳しくはならない、無理な状況は作らないけど、やっぱりある程度は合理的にリスクを回避する手段をみんなで責任感を持って取り組めるような、何かそういううまいグレーゾーンの作り方みたいなものが何かないといけないのかなということを改めて思いましたが。

安原 すみません、私は簡単に考えてしまっていて、最初は整備によって大きな改修があって段階的に機能が上がっているという図を示しました。そういう意味では、その維持管理を始める時点の前まで整備された水準を維持管理の目標としてお約束するのかと。

流下能力はそれが一番分かりやすいと思っておりまして、これまで整備の中でやってきた流下能力の蓄えがある。それをまず守るとするのが前提になるのかなと。そういう意味では、流下能力については

確率規模なのか、または流量規模みたいなもので表現していくと。

藤田 それは後退させないということ？

安原 はい。

藤田 5%ぐらい戻ってもいいやっていうんじゃないか？

安原 土砂の堆積や樹木の繁茂が分かっているのなら5%戻るという目標でもいいじゃないか、と思います。つまり、現況で確保された機能に対して川というのは機能低下が一定はあるという考え方です。

その分を織り込んで、30年間の中でこれぐらい機能が落ちるといことはしょうがないことなので、それを何とかして守っていくということを維持管理計画、または維持管理目標の中で明示して行って、それを全力で取り組んでいく、そういう世界なのかなと。

それで流下能力は分かりやすいので、あとは堤防の湿潤などはまた別の雨などの指標などを使って、この程度のものには耐えられるということのを定量化して表現していくイメージです。

藤田 ある幅までは下がってもいいかもしれないけど、その下がってもいいラインをやっぱりちゃんと決めよう、ということですね。

安原 はい。許容範囲を決めておけばよいということです。

藤田 かなり流下能力関連がきちんとした世界になりそうな気がするの。

あとは、もう1つ、先ほどのフォルトツリーのいろいろな関連があって、ああいう整理ができたとして、先ほど何度も「場の特性」、そういうものがあって、その変状があって、組み合わせでいろいろなことが分かるんじゃないかというお話ではあったんですが、では定量的にどれぐらいの偏流で堤防が侵食されそうかということのを予測するのは、やっぱりそれなりに難しいと思いますが、ちょっと確認したかったのは、フォルトツリーってシナリオはある程度見れても、最後には突発性という話になってしまうので、予測するのは難しいことを前提にした議論なのか、ちょっとそここのところをもう一回確認した

いんですが。

やっぱりこれから技術的にある程度はそういうものが事前に、「今度ある程度の水が来ればこういう侵食が起こる可能性がある」ということを、やっぱり予測できるように持って行きたいという意味なのか、ちょっとそこのところを確認したかった。

安原 両方ですね。当然ながら、維持管理の範囲として取り組んでいくんでしょうが、たぶんどうしても予測して対応できない部分というのは必ず残って、ゼロではない。それぐらいのイメージです。

藤田 あえて言うと、線は引けるけど、あの線をつないで定量的に予測するのはそんなに簡単にはできないんじゃないかなと思ったんだけど。そこに相当難しい話がたくさん転がっているんじゃないの、どうやってやるのかな、と思ったんですけど。

安原 そうですね。その最後の結果をどのように整理するかですね。恐らく最後のまとめ方は、壊れやすいか、壊れやすさが低いとか、そういった区分にしかならないのかなと思っております。

藤田 なるほど、そのイメージがね。

安原 なので、河川管理者が地元の人に対して提示する内容は、総合評価の結果この程度だというような、それぐらいの分けにしかならないのかなと思っておりまして。あまり数字だけでどちらかに分けるようなものは、難しいと考えます。

藤田 であるとする、それがまさに対外的な、地域への説明も含めて、管理のいろいろな進め方とか判断にどういう実効性を持ち得るか。例えば○、×、△をつけて、それで本当に物が進むのかという議論も当然一方ではあって、では服部さんとか佐々木さんが一生懸命にやろうとしていると思うんだけど、もうちょっと定量的に、今度、計画クラスの水が出たら相当な確率で危ない場所はこの3箇所あるとか、そういうように言えるようになればまた局面が変わってきますよね。

その辺のイメージがすごく重要で、そこらあたりに次の大きな山があるのかなという。ただ、今の安原さんのイメージは分かって、あれですぐにすごい

定量化するというのではなくて、少なくとも今よりも少し総合評価で危なさの加減を提示できるようになることをまず誰かやろうという、そういう意図だということですね。

安原 そうです。

藤田 分かりました。今までのところで鳥居さん、服部さん、佐々木さん、何か質問とかコメントとかありますか。

鳥居 本筋ではなかったかもしれませんが、「マージン」という言葉が出て来たので、ちょっとそこに反応しまして。

やっぱり河積の管理というのは今までどちらかと言うと、何と言うか、計画整備を作ったときにいろいろなことを加味して、ピッタリに水位をしないで何cmか、何十cmか余裕を持っていたという風に聞いております。それが逆にさっき出た管理のマージンみたいなものに使っていたんだらうなと思います。

それで、いよいよ最近になってくるともうちょっと溜まるのが早い場所が出てきたりして、もうちょっとそれを明示的に、最初からそういうものを「マージン」だということで、あらかじめ掘っておくということがかなり求められてきているなということを感じています。

ですから、私も3回目のとき、この中で話をしましたけども、管理できるような川にするためには、まずは河道の設計の方で管理できる条件を整えましょうという話をさせていただいたときに、確かマージンというのはそういうものに位置づけられるはずだと。やっぱりマージンを持っていないと、これまで何となく経験で、このぐらい引いたら管理ができるだろう、とやっていたのがだんだんと厳しくなってきたので、明確に位置づけようということをお話ししたと思います。

なので、ひょっとすると定量的に評価というところに結びつくかもしれませんが、そういったものが「このぐらいの量だよ」ということがある程度は言えないと、○、×、△、またはさっき言った

ようなマージンの大ききみたいなものがあまり有効ではなくて、そのぐらいの度合いができるようなことにならないと○の意味が分からないということになってくるのかなと思って、ちょっと一言言わせていただきました。

**藤田** 流下能力の議論の中では相対的には比較的定量的な議論に乗りやすいと。その分、ちょっと鋭い刃物のような危なさまみたいなものがあるかもしれないけれど、扱いをきちんとすればね。だから、1つは流下能力についてはもうできるものは見えているんだから、この際やっぱある程度理屈でしっかり体系を作ったらどうかと。一方で、侵食で堤防が切れる可能性があるとか、ましてや浸透とかはもっと難しいと思うんだけど、そういうものは次に一歩進める方向は何かとか、ちょっと分けて。

それで僕がちょっと思っているのは、できない分野とできる分野を一緒の速度でやろうとすると、すごく何か全体がうまく進まない感じがするので、重要なことでできるものはやっぱりどんどん施策的に技術のレベルに合った形で実装して、ただ全体のバランスはちゃんと見るんだけど、そういうものが大事なのかなという意味では、常々マージンの議論とかも出ていたけど、そろそろそういうものをしっかりとできる技術として、責任もちゃんとうまく表裏一体にさせるみたいなのが必要なかなと、改めて思いました。

**服部** 時岡さんが外力の設定についてお話をされましたが、その話を聞きながら、たぶん外力というのは1つではなくて、不確実性を伴うものを相手にしているので、いずれきちんとアプローチをしていけばある閾値を超える超過管理が何%だと、あるいはそのある期間内に超える確率は何%だという表現をしていくんだろうと。ただ、本当にそういった風な設計体系が管理上必要なのかどうかというのを逆では思いながら、さあ、どちらの方向に行くのかな、という感想を持ちました。

**藤田** 最後のところの、行くのかな、というところの心をもうちょっと。



**服部** そういうことをガンガンやっていくのは工学的に大変面白くて、わりあいにチャレンジングだなというように思うんですが、そういうことが本当に国民とのコミュニケーションという観点でそういう評価が必要なのか、もっとそこはもう一つ裏支えをしながら、どうやって伝えていくのかなというところが極めて重要だというように、その他の全般のところの講演も含めて考えると、そのような感想を持ちました。

**藤田** ちょっとまた会場からもご意見をいただきたいんですけど、もうひとつ、今の議論に非常に関連していて、まさにあのFT図で全体の避けたい事象の起こり方の議論があって、私があえて質問したのは、それをある程度は定量的に見れないとだめなものもあるんじゃないですかと。それに対して、まず難しいものについてはいきなり高いところを狙わなくても、○、×、△ぐらいからとか、そういうことで少し進めるんじゃないかと、そういう議論がありました。

その上で、では技術的にはまさに突発性というのは難しいと書いてある、破堤・浸透すべり、破堤・侵食、こういうものがたぶん服部さんと佐々木さんのご講演の中では、もうちょっとそういうものを少しでもより定量的にできるようになるんじゃないかという路線での披露もあったと思うので、ちょっとその辺について今の技術レベルでどのように捉えているか。そこにどれぐらい行けそうなのか。そこにどういう技術が足りないのか、欲しいのか。これは各ニーズとシーズのマッチングの、新しい技術のニーズの話にも繋がるかもしれないので、その辺に

ついてそれぞれお考えを簡潔にいただけるとありがたいと思います。

では、まず話を完結するために、服部さんの方からは越水はもう流下能力の議論なので、それはもう省くとして、ではこの川にH.W.L.ぐらいの水が来たときに、洗掘、侵食で破堤が起こるかどうかが今どのぐらい分かっているかという、そういう問題に帰着させて少し議論を展開していただけるとありがたい。

**服部** すみません、そこの部分は最初「含む」だったんで、あまり直接扱うつもりはなかったんで、資料はちょっと用意していなかったんで口頭だけで。

今のシンプルな質問に答えるとすると、相当難しいなと思っています。今○、×、△をつけられるのは、たぶん高水敷の幅というのが1つありまして、それで洗掘されたとか、河岸が侵食されたということが起こったときに、過去一番大きく侵食された高水敷の後退幅が今の高水敷幅と比べると大きいのか、小さいのか。大きいとたぶん堤防まで行ってしまうのでアウトと。小さいとまだ高水敷の中で止まるのでセーフといったぐらいの大まかなやつがあるというぐらいだと思っています。

それが過去最大ですので、H.W.L.まで行ってないような洪水のときもありますし、もっと小さいのもあるという中で、何かギリギリ判断しているんだなというのが今の護岸の強度を考えるときのひとつの考え方だと思います。高水敷幅のかなり広いやつはそこそこで、ひょっとしたらなくてもいいかもしれないと。しかし、それよりも狭いものになると、相当程度がっちりしたものでないと危ないというような判断だと思います。

ですから、一番最初に藤田研究総務官からお話があったように、ではそれを例えば管理を怠っていたとか、河床が低下してきて前とちょっと機能の発揮し具合が変わってきたといったときに、ではどれぐらい破堤しやすくなるのか、もうちょっと端的に言うとか、どのぐらいの水位の洪水だったら破堤するのか言い当てると言われると、これはたぶんできないと思います。1回トライしたんですが、すごく難し

くてできませんでした。いろいろやったんですが。

ここでつまづいたという具体的な現象で言うと、自然河岸だと思っていたんだけど、あまり侵食が進まないという現象です。最近、河床低下していて二極化が進んだというようなところがありますね。そうすると二極化して、昔、砂州だったところが今は川岸のようになっていて、自然河岸のようになっているんですが、河床変動計算をすると、砂州も一緒に削れて、河床低下がブワッと進むという形になってしまうんですが、現地に行くともうしっかりした川岸が垂直に立っていて、そのお陰で河床低下はすごく進んだけど、今回は破堤を免れたみたいなものがあるんですね。こんなのはなかなかできないなというのがあります。

また、護岸が壊れてどんどん横に侵食していつどこまで行きますかというのは、かなり数値計算のことではトライされるようになってきました。ただ、礫床河川だとやっぱり交互砂州をしっかりと、また複列砂州をしっかりと予測して、その水当たりがどの範囲までできるかというところが外力として相当重要なので、そこはちゃんと予測できるのかというところが、川岸が侵食される範囲がどこまで、どこまで行ってしまうのかということがあって、僕が何となく思うのは、砂州がしっかりとまだそこまで予想できるのかというところが難しさがあって、川岸の幅が、侵食される幅がまだまだちょっと難しいのかなと。それで先ほども言ったような硬くて行かないというやつ、そこに相乗りしてまた難しくなっていると思います。

案外うまく行けそうかなと思ったのは、砂の河川ですね。局所洗掘、これは砂州がどうのこうのと言うよりは、湾曲がしっかりしたところだと比較的オーソドックスな話で、まあまあ行けるのかなというところも出て来たかなと思います。

ではあるところまで洗掘が行ったら川岸が崩れて堤防まで行くかというところになってくると、今度は川岸が粘着性とかになってきて、ここがちょっとネックになっていると。なかなか粘着性の河岸がバ

シャットと崩れたら、それをまたさらに持っていかれて、一発で堤防が壊れるまで行くのかということまで行くとなると、ここは難しいということになっています。

ですから、総じて言いますと、なかなか河床変動計算は進んできたところがあるんですが、洗掘深がどうのこうのとか、石の川のような粘着性を持っていない川岸ならある程度は予測できるようになってきたが、しかし砂州のところがうまく予測できないというようなところと相まって、まだまだ詰めるべきところがあって、そういうところの積み残しの技術の部分が多いので、この水位、この出水規模が何時間続くと川岸が削れて堤防が危なくなるといふところまではなかなかまだ行きつけないかなと。

なので、一番最初に申し上げたような、現況のこれまでの実績の川岸の侵食を見てまた判断するといふところが相当程度有力で、○、×、△それぞれで作れるのが頑張れるところかなと考えている次第です。

藤田 今のお話は、ある意味では、安原さんが提示されたようなアプローチと比較的親和性があるようなお考えのように見えたんですけど、そういうことでいいでしょうか。

服部 はい、あえて親和性が出すような方向で、もしやるとしたらそうなるなということをやってみました。定量的、まではちょっと行かないけど、河積みみたいにカチカチと組み上げていくのはちょっと難しいが、でも管理ですからやらなければいけないと、

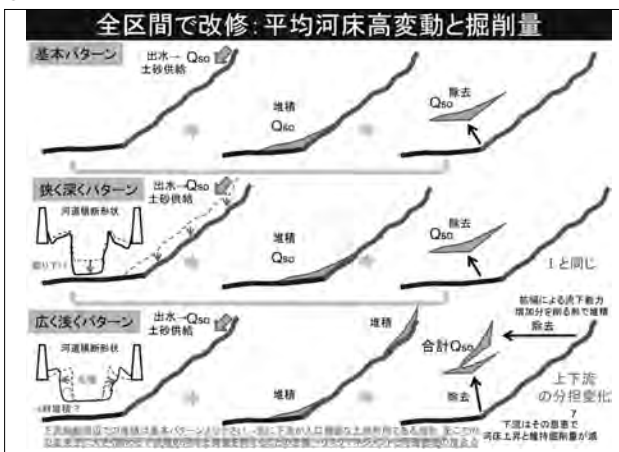
フレームを作らなければいけないと、安原君のあれを全部詰めなければいけないとして、今は国総研に持ってこられて、どうやって繋げるかと言われたら、まずそこからやりましょうか、というぐらいの話にするかなということちょっと答えさせていただきました。

藤田 あまり無理して仲良くしなくてもいいと思うんですけど（笑）。今の議論は形だけで言うと、私の「a.計画高水位以下の流水の通常的作用による破堤氾濫を起こさせない」はどれぐらいできるのかという話を質問させてもらったということにしているんですが。

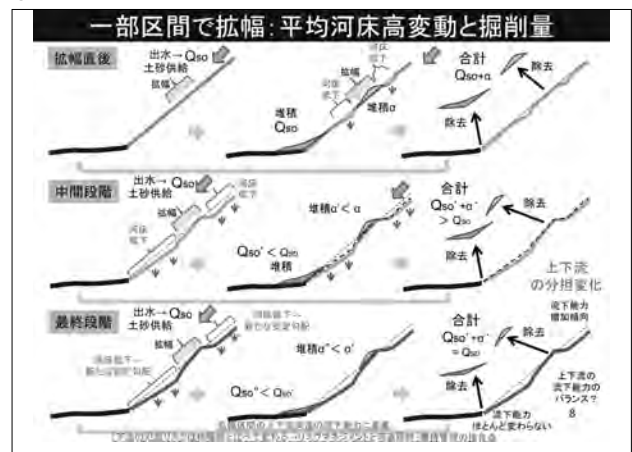
であるとすると、一方で、そうは言っても美しい世界としてはやっぱり、技術が進んで、先ほどの粘着性の問題もちゃんとしっかり工学的に解明して、それからどこにどんな地質があるかは第1回にいろいろな新しい技術の話がありましたが、ああいうのをもっと発展させて比較的安価に土質材料の特徴が分かるような探査技術をやるとか。それで砂州の話は、それはまさに水理学の一番大事な話の一つなんだから、それをどんどん専門家にやってもらって。そうやってちゃんとしかるべきターゲットを、全体像を示して、こういうところまでぜひやってくださいという世界に持って行くという世界は作ってはいけなんでしょうか。

「作ってはいけないのか」という質問は、つまり「それはそれで大事だ」という感じなのか、「いやいや、

● スライド13



● スライド14





難しいんじゃないの」という感じなのか、ということですが。

**服部** 難しいとは思いますが、私は作りたいと思っています。やっぱり前回の話でも、河道の掘削具合によって流下能力バランスも将来的に河床変動で変わってくるといった中で示させていただきましたが、これはあくまでもやっぱり分かりやすい河積の範囲内の話です。(スライド13、14)

これから思いっきり抜けているのは、ではこの河床が低下したら流下能力が上がっているかもしれないけど、局所洗掘も一緒に深くなっているだろう、それがひょっとしたら流下能力バランスとしては越水しにくくなっているから、破堤しやすくなっているんじゃないか、という点です。

それが、ひょっとしたら今はすごい水衝部があって、経験的に何とかブロックを投入して何とかセーフになっているんだけど、そのやり方ではもう担保できなくなるぐらいひどい洗掘深なのかという判断も難しく、ちょっと入っていない。そうすると、本当はそれを入れないとこういう河床低下を起こして上下流バランスが変わったと言っていますが、本当の変わり方が入っていないという意味においては、ちょっと不正確だと。

なので、これを本気で体系化し、技術化し導入していくには、今の話は避けて通れないと思ったので、やっぱりやっていくべきではなからうかと思っているところです。

**藤田** ありきたりの話かもしれないけれど、誰かが「個々の学術研究はすごく尊いんだけど、こういう本当のリスク管理をするのにこういう水準を持つ個別技術が必要だ」とか、「やっぱりこういう地質の探査技術が必要だ」とか、具体的に提示しないことには何となくこの全体が進まないような、当たり前のことなんだけど、やっぱりちょっとそれ辺りを、ニーズと言うか、評価技術に一番苦労されている人がやっぱり一番苦しんでいるわけだから、そういう人が「こういうのとこういうのが欲しいんだ。これぐらいの水準でないとだめなんだ」ということをも

うちょっと明示しないと、何か進歩しないのかなとちょっと思ったので、その辺を少し確認したくてそういう質問をしました。

それで、もっと難しい質問になりますが、浸透破壊みたいな突発性の最たるものになるのかな。もう「水防」とかと書いてある状態の話とか、逆に言うとかの議題にも行ってしまっているんだけど。でもそうは言っても大変な努力で、やっぱり浸透に対して技術化がすごい進んできたと思いますし、調査という位置づけだけど、1995～1996年か忘れましたが、そういうものが入ったりとか。やっぱりある進歩はしてきているわけですね。

それで、より難しいと思いますが、そんな中で同じ質問を浸透破壊に対してするとしたらどうなるかと。ちょっと三木大先輩がいらっしゃる前で、非常にやりにくいかもしれませんが。あまり遠慮せずに大いに思うところを述べていただければ。

**佐々木** 私の方の資料に一応載せておりますが、前回お話をさせていただいた内容に若干補足ということで書いております。

それで「堤防強化の考え方」と書いてあって、これは維持管理、広義の意味では維持管理なのかもしれませんが。それで堤防はこれはあえて強化とか書いたのは、先ほど藤田研究総務官のでポンプの絵がありましたね。やっぱり堤防の場合にポンプが壊れていくのを維持管理すると言うよりは、最初からポンプは機能発揮していない初期不良が隠れているという認識の方が大きいのかなという風に考えておまして、ここではあえて「強化」と書いております。まあ、計画高水位を通常的作用に対して耐えるという意味では維持管理の一環かもしれません。

それで「堤防強化の考え方」ということでいくつかそういったことを書いております。(スライド15)それで1つ目は、「定規断面の確保」ということで、これで進んできたわけですね。経験的にはある程度、安全性確保ということ。「ある程度」と書いてありますが、かなり経験的には確保しているし、矢部川もある意味でH.W.L.は超えたとか、そういうと

ころがあって、そんなに悪くはないんですが、当然ですがこれで全てが安全かと言うと、そうでもない被害もあるというところです。

2つ目の「被災箇所、変状箇所の強化」が、どうして来たかと言うと、被災があったら強化して復旧したとか、破堤にまでは至らない変状に対しても手当てして強化してきた、ということです。

3つ目の「事前対策（安全性評価、事前強化）」は、これがいわゆる最近の概略点検から詳細点検でやっていることで、事前で弱点箇所を地形やボーリングで抽出して、水理学的・地盤工学的な計算とかを噛まして、それで強化してきたというところです。

それで4つ目の「予兆の把握（維持管理含む）」が、これはちょっと2番とも微妙なところなんですけど、予兆の把握。維持管理なんかで変状のあったところを見つけて、その原因を見て強化してきたということがあるのかなと思います。

それで私の方でよくお話をさせていただくのは、やっぱり3つ目を中心に、どうやって事前に弱点箇所を抽出するかとか、現行より安全性の評価というのをできないかということです。

これは今のやり方ということで、一連区間を設定して安全性照査というのを実務的にはやっています。（スライド16、17）その実態としては、弱点箇所を計算するのは代表断面でやっているんですが、そこがそもそも抽出できているのか、ということで、

● スライド15

**堤防強化の考え方**

1. 定規断面の確保  
経験的にある程度の安全性を確保
2. 被災箇所、変状箇所の強化  
被災・変状のメカニズムの適切な評価とメカニズムを踏まえた対策の実施
3. 事前対策（安全性評価、事前強化）  
弱点箇所の抽出、被災メカニズムを踏まえた安全性評価、被災メカニズムを踏まえた対策
4. 予兆の把握（維持管理含む）  
致命的な被災につながる予兆の評価、それをとらえる技術

実際抽出できていないことが多いんですね。例えば矢部川なんかも破堤していますが、そこが詳細点検で抽出できていたかと言うと、できていなかった、ということです。

それと計算の方も、円弧すべりとかいろいろやっていますけれども、これでやると実際に直轄で6割ぐらいがアウトになるんですが、では本当に直轄の6割がH.W.L.まで水位が上がったら全部やられているかと言うと、そんなことはなくて、あくまでも発生の可能性の有無というか、それぐらいの評価で、本当に破堤につながるかどうかということまでは正直、評価はできていないというのが現状かという風に思っています。

それで、これは矢部川の例でして、これは破堤した後に細かく調べると、例えば弱点となった砂層というか、非常に局所的に入っているということで、事前評価でやるにはこれを見つけないといけない

● スライド16

**照査・設計の手順：浸透に対する**

浸透に関する堤防の性能照査は、浸透流計算とそれから得られる浸潤面を用いた円弧すべり、パイピング、盤膨れによる堤防破壊に対する安全性の評価

- 一連区間と代表断面の設定の確認
- 高透水層の分布を見逃さない
- 照査結果と対策の対応
- 適切な材料選定と施工管理

一連区間の細分は、基礎地盤の土質や微地形、堤防形状を考慮  
代表断面は浸透に対して最も厳しい条件を有する箇所

厳しい条件：  
・堤内地盤が低い  
・堤防幅が狭い  
・局所的な砂層が分布など

実態としては、弱点箇所を代表断面として抽出できていないことが多い

● スライド17

**浸透に対する堤防の安全性照査**

照査基準 基本断面形状を確保したうえで、以下の項目について照査

- ① 被覆土層なし  
局所動水勾配の最大値:  $i < 0.5$
- ② 被覆土層あり  
透水係数:  $G/W > 1.0$   
パイピング破壊に対する安全性

表のり:  $F_s \geq 1.2 \times q1 \times q2$   
q1: 変状層の埋没さに対する割増し係数  
q2: 基礎地盤の埋没さに対する割増し係数  
表のり:  $F_s \geq 1.0$

すべり破壊に対する安全性

変状の発生の有無についての評価であり、必ずしも致命的な被害に結びつくとは限らない

い。(スライド18) 先ほど安原さんが言った「場の条件」という話ですが、場の条件としてはここにはこういう非常に局所的に弱層があったということで、要するにこれを見つけないと評価ができないということで、これはひとつの大きな課題かなと思っています。

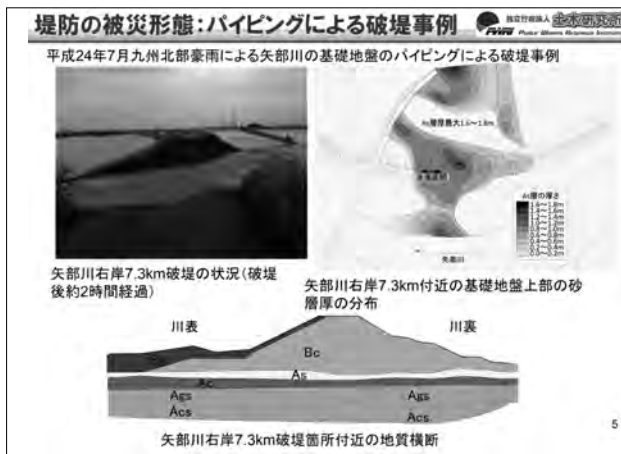
それでこれはまた別のケースでして、これは子吉川だったと思いますが、(スライド19、20) これも破堤には至っていないんですが、裏法がすべりましたということで、これは被災した後に調べると、やはり被災区間が局所的に被覆土層が薄いという弱点箇所であったり、あとは本当にすべった跡を開削すると、本当に下に砂層があって、上に薄い粘性土層があって、恐らくここに浸透水が被圧して、ここで噴砂と揚圧力ですべったというような事例でして、こういった非常に局所的な土質の分布というのを把

握しないと、実際にこういうものは評価できないということが課題としてあります。

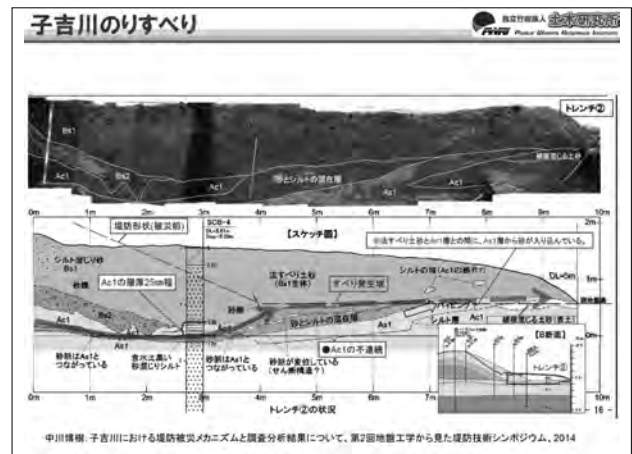
このスライドは今言ったことをまとめたものです。(スライド21) 被害事例からすると本当に局所的な弱点箇所が発生していますので、やっぱり事前対策としてやるには、これをどう見つけるか、今日は佐藤さんがいらっしやっていますが、こういう地盤調査の方で、特に延長の長い複雑なところからどう見つけ出すかということと、あとは評価法ということでは、先ほどの現在のやり方ですとあくまでも発生の有無ぐらいですから、本当に破堤に至るもの、噴砂ぐらいで終わるものというレベルの評価はできていないということです。

それと、あとは「既往の出水等では変状は報告されていない」とありますが、安原さんの資料でも「突発的なものには状態監視で対応」と言うんですが、

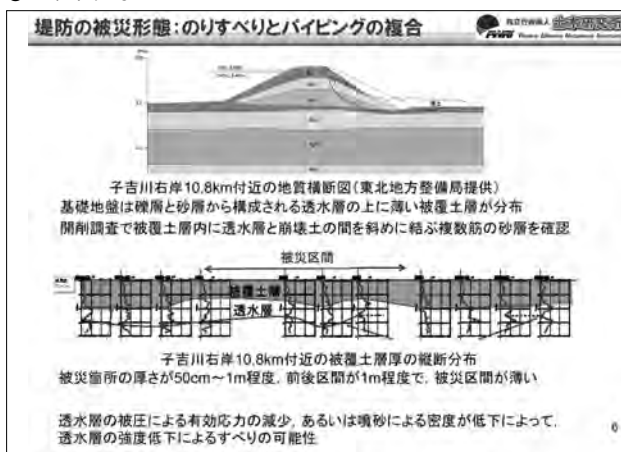
● スライド18



● スライド20



● スライド19



● スライド21

- 近年の被災事例から見た課題
- 被害は局所的な弱点箇所(砂層、被覆土層圧等)で発生  
いずれの箇所も代表断面として抽出されていない  
局所的な水圧上昇が被害に影響  
→膨大な延長の中から弱点箇所を抽出する技術、土層構成を詳細に把握できる技術(物理探査、サウンディング等の調査手法の開発、運用の適正化)が課題
  - 大被害には至った箇所と至らなかった箇所について適切に評価できていない。  
→浸透破壊のメカニズム、変状の進行性の評価が必要
  - 既往の出水等で変状等は報告されていない  
目視点検では把握可能な変状は生じていなかった。  
→大被害に至る可能性のある箇所では目視では確認できないような変状も無かったか?

例えば状態監視でも「出水中の状態把握」ということで、この破堤箇所というのは事前の点検の中で言えば、把握可能な変状等は報告されていないですし、矢部川は特に水防団の方たちがいたんですが、水柱があるところに落ちちたということで、なかなか水防活動で対応するというのも難しいところがあるというのが、この事例で突きつけられている課題です。

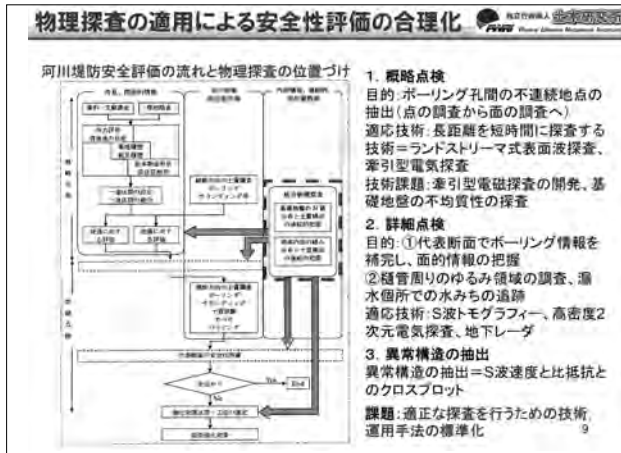
そういうこともあって、前回ご紹介したのは、例えば物理探査などを活用して概略的延長の長いところについては地質の変化点ぐらいは見つけられないかということでトライしていて、例えばこういったサウンディングで、これも噴砂があったところなんですが、細かくサウンディングしたところ、ちょっと違う層のところは物理探査でも答えが分かっていたら当たるとかなというぐらいのレベルには来ているということなので、これはもう少しこういう臨床を重ねてい

くのかなと思っています。(スライド22、23)

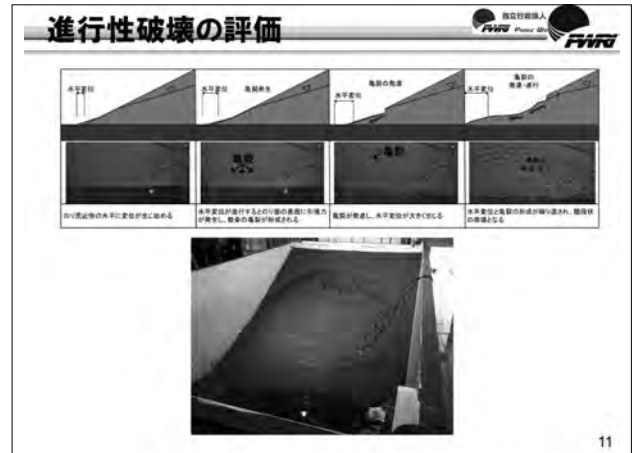
それとあとは堤防の被害なんですけども、いろいろな噴砂ぐらいで終わるものとか、破堤にまで至るというのは何が違うとかいろいろ実験とかをやっていて、その条件というのはまだはつきりつかめていないところがあります。それについては引き続きやって、単にアウト、セーフではなくて、どれぐらいの時間でどこまで進行するかということまで持っていきたいと考えているところで、それを目指しているところです。(スライド24、25)

ただ、もちろんこれだけが堤防強化の全体像とは考えていなくて、これも事前対策の一部ですね。当然、被災したら強化していく、ですし、変状があったら、ということで、もしかしたらこの辺が将来的な、ちょっと次の話題になってしまうかもしれませんが、先ほど言った状態監視で弱点箇所を見つけて

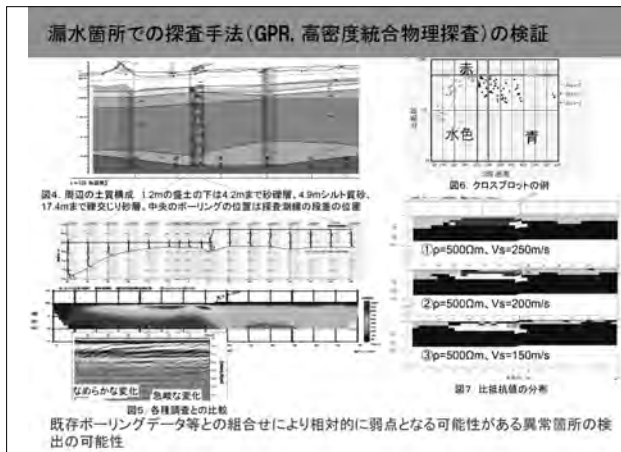
● スライド22



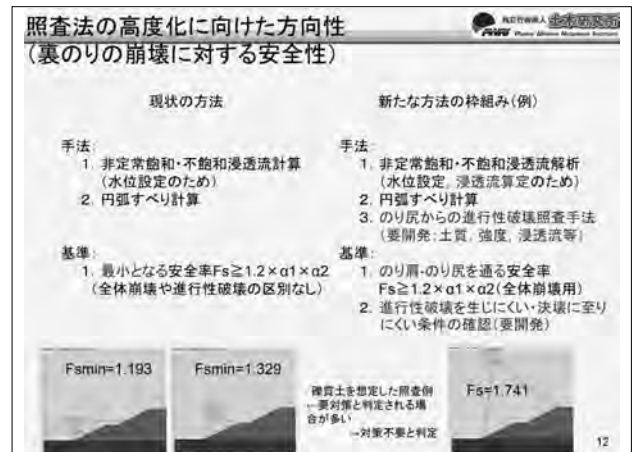
● スライド24



● スライド23



● スライド25



いくような方向に今かなり研究の余地があるのかなということで、最近ですと本省さんの方ではモニタリング技術の開発とかそういうところにもいろいろお金をつけていただいているようでして、こういう技術の開発というのも今後はあるのかなというように考えているところです。

**藤田** 例えば矢部川の破堤はH.W.L.を超える超過の外力が原因なので、それで整理がつくと思いますが、現象として仮にああいうものがH.W.L.以下で起こることも想定したときに、探査技術も含めた今の技術でこれは分かるものなんでしょうか。その難しさの案配を、ちょっと教えていただきたい。

**佐々木** 難しいと思います。今の技術でアウト、つまり「これはダメでしょう」というのは分かると思います。ただ、その隣の箇所がセーフになるかという、たぶん分かりません。要するに、安全側に振っているのです。

**藤田** それは透水性の高い土層の存在が分かったとしたらどうですか。

**佐々木** 分かったとしたらアウトにはなりますね。

**藤田** これぐらいのレベルの土層構造の把握は、やっぱり相当難しいということ。

**佐々木** 難しいと思いますね。今の技術では。まあ、やればできるというか、これは破堤した箇所を調査したから分かったんですが、それを全河川でできるかという、それは現実的ではないので、では物理探査等でこれぐらい押さえられるのかどうかというところの確認をしているところですね。もしかしたらすごいエキスパートの方がやれば見つけられるかもしれないんですが、やっぱり全国に展開するにはそれをなるべく標準化していかないといけませんので、その辺は課題かなと思っています。

**藤田** 私はこの専門家というわけではないので、門外漢の責任ない発言になってしまうかもしれませんが、ではこういうレベルのものが分かるようになるということをひとつの技術水準の要求として、探査技術に大変努力されている方とのいろいろなコラボレーションの中で、やっぱりこういうものをぜひ10

年かけてこの水準を目指そうとか、これぐらいのことが欲しいんだということを、今まで以上に取り組むというのはどんなものなんでしょうかね。

物理探査を逐次的に進歩させるという努力はもちろん大事だと思うんだけど、一方でやっぱりある水準の判断に使えるものになりたいというニーズもすごく重要ですよね。だから、先ほどのニーズとシーズのマッチングという意味の一つの代表例だと思いますが、今すぐにできなくても、やっぱり目標水準はこうなんだということを具体的に示すようなスタイルの協働みたいなことはあるのか、そこにも難しさがあるのか、その辺をまず佐々木さんとしてはどういう感じなのかを聞きたいと思って。

**佐々木** ひとつは、こちら側が要求水準を示し切れていないというところがあると思います。要するに、今これを計算すればアウトと言ったんですが、ではこれが本当にパイピングで壊れるまで予測できるかという、それはそういうことはないんですね。これと、その隣の噴砂だけで済んだところと、評価の上で区別が今のところはできていない。

それはそっちでまたいろいろ検討してさらに進めていく必要があるんですが、とはいえ少なくとも前後で何か違いそうだということぐらいは分かるようにしていただきたいというニーズとしてはあって、まあそれはいずれにしても両者一体となって進んでいかなければいけないところがあって、評価技術やる方は評価技術だけでなく、それを全体として取り組んでいかなければいけない課題かなと思っています。

ですから、我々の方も国交省さんからいろいろお金をいただいてやっているんですが、物理探査学会の方と一緒にやっていたり、例えば土木学会の委員会の枠組みとかを使って、それでいろいろな調査会社さんたちと一体として研究を進めていきたいなと思っています。

**三木** あまり技術的なことよりも、藤田さんの講演にだいたい刺激を受けて、1970年ぐらいから河道、河積がどんどん伸びて、30年ぐらい伸び続けて、それ

が40年ぐらいになるとだんだんと頭打ちになってきている。ちょうど1968年に飛騨川バスの転落事故があって、それで道路の維持点検もどんどんお金がついて、あれはガソリン税がありましたので、防災点検を5年に1回やって改良・改築を重ねてきて、それが大体2000年ごろに頭打ちになるんですね。あとはそれまで築いた財産でやりくりしている。あとは、その後追い対策ですね。災害が起こったら復旧するという状況になってきている。

それで河川も同じなんです。先ほどお話があったように、大体1970年ごろ、昭和45年ぐらいから30年ぐらいどんどん投資が進んで、整備が進んできたわけです。それで嵩上げて、拡幅して、定規断面を目指してきて、力技で全国の河川にお金がついたんですね。その時代がもうそろそろ頭打ちになってきたのが、ちょうど1995年、1996年ごろで、それからはもう今までのような力技でどんどん堤防を強化できない。

それで出てきたのが性能照査なんです。これは当時の河川局長の近藤さんからトップダウンで下りてきて、要するに今までのように力技で堤防強化にお金を割けないから、ちゃんとどれぐらいの外力に耐えるんだという性能照査をきちんとして、弱いところにお金を投資すると。財源の限界が見えてきたから性能照査というのが始まったんです。

それで今はその性能照査で絞り込みはどれだけできているかと言うと、実は絞り込めていない。それで、その弱点箇所を絞り込みをもっときちんとして、もっと維持管理とか、堤防強化のお金を減らそうというのが大きい流れなんです。だから、その絞り込みに多少調査とかそういうことにお金をかけても、きちんと絞り込めれば全体の補強対策のお金が減る。減ると言うか、減らざるを得ないので、逆に言うと絞り込みをきちんとして、それで必要最小限のところ財源を集中投下する。もうそれしか道はないと。

一方、道路は予防保全をどうするのかと言うと、災害復旧と後追い対策しかないと言うと寂しいの

で、最近考えているのはもらい災害、斜面の森林からのもらい災害が多いので、道路を守る地域の斜面の樹木を強くしろと。これは10年、20年、30年単位で樹木を強くすれば、将来の維持管理も減るし、お金もかからないし、そういうことをしようというようになってきています。

では、河川には何があるかと。お金がない中で、そうなるやっぱり地域防災になってくる。その地域に住んでいる人と、公助でも限界があるから、自助共助、あるいは水防活動、先ほど時岡さんが言われたような。それと変状を見つけるのも地域の人と一体となってやろうよと。国交省の管理者、あるいは県の管理者がそのコーディネーターだと。地域の人と一緒にその地域を守っていこうという方向にたぶんなるんだらうと。これから財源がますます厳しくなると、なっていくだらうと思うんです。

そういうときに、では国が何をするのか、河川管理者は何をするのと言ったら、地域の人と一緒にこういう技術を使って堤防をこういう風に見れば弱いところが分かって、こういう補強の仕方がある、あるいは、住まい方もあるよと。ここはもう2線堤なり、あるいは眼鏡堤の大きいのが切れてもいい、切れても、そこで何か遊水池とか、人工的な氾濫原に住むという覚悟を決めてやるとか、そういうのも地域防災として考えるのも出てくる。

だから何が言いたいかと言うと、そういう歴史的な、日本が高度成長して今はこういう状況になってきたという歴史的な背景から、もう技術、あるいは暮らし方も変化を迫られているわけですよ。そこで技術がどういう役割を果たせるのかというのはやっぱりよく考えて、藤田さんの問題提起はそういう国民に対して分かりやすく説明できる理論構築をしつかりしようということだから、今日は私もちょっとそういう刺激を受けて、そういう流れできちんと整理して戦略を立てていかなければいけないかなと思いました。

藤田 ありがとうございます。共感をいただいて大変心強かったと思いました。

逆に言うと、いいなと勝手に思ってしまったのは、絞り込みは全く役に立っていないというのは語弊があるかもしれないけど、まだ不十分であると、技術的にまだやることはたくさんあるぞということだそうですから。

そうすると佐々木さん、こういうスキームでやる、ということは別にして、足りないということを見据えて、両方必要だとおっしゃいましたよね。だから、安定する方の技術も、それは佐々木さんが専門なのかな。土研が頑張るのかな。やっぱりそれに見合う探査技術、自分が頑張れば逆に探査技術を頑張っている人に対してもっと高いハードルをと、切磋琢磨になるわけですね。そういうことをやればいいですね、というのはいいんだけど、やっぱり一歩でも「自分のできる範囲でやるぞ」、というようなことがあると皆は、そうか、って思ったりするのかなと。

佐々木 それは……一緒にやっていますので、頑張ります。

藤田 まだ足りないということを堂々と saying だったので、だったら1年後には少しでも進歩する、あと探査技術についてもこういう要求をちゃんと出したぞと。それに対して佐藤さんとか皆さんがまた真剣勝負で、もっとはつきりしろと言ってもらえると、すごい世界だなということになるのかなとちょっと期待したりしております。

議論がもう、私のペーパーで言うと、26ページの話があるんですが、私の想像を超えて、すでに27ページの話の議論になってきてしまいました。

それで、ここで言いたかったのは、ワンパターンではだめなんじゃないかと。だから今まで先人が築いたものを、ただ同じ道の延長線上だけではなくて、そこに限界があるかもしれない、だったら全然違う切り口のやり方を同時に絡ませてとか、まさに先ほどの三木さんの話で言えば、水防的なものをもっと洗練させて地域と絡めてやるという路線があって、その一方で探査技術を高めて王道で事前に把握する方法も頑張る。どちらもすぐに完璧にならないん

だったら、両方をうまく補完するようにやろうとか。

何かそういう全体の戦略みたいなものがなければいけないんじゃないかということのを改めて思ったし、それに対してさらに大きなストーリー、今、河川のインフラというのはこういう段階にあって、これから30年ぐらい先の国民へのサービスのことを考えたら、我々はこういうことにチャレンジしているんだ、ということのをクリアに語れるような、そういう話にうまくリンクできるといいなと思ったんですけども、ここでそういう目で27ページを見たときに、事前に高精度で分かるというのは、先ほどのやっぱり安全性を判断する技術と、それから土質を調べる技術の両方がしっかりされなければいけないという佐々木さんの話もありましたし、それから事象最中の変状ということですよ。

まさに水防もそうなんだけれども、起こっているときの情報ということがすごい。だけど残念ながらリードタイムはない。だけど、それをもうちょっと活かす方法ってあるんじゃないか。今は非常に情報技術も進んでいる。だから昔で言うところの事前対策と水防というのが全く別物であるのではなくて、2つの間の繋ぎ方をもっと洗練させるようなものをもっと意識的にやったらいいんじゃないかとか、ちょっといろいろなことをごちゃごちゃと書いてます。

この辺の、今やっている技術は頑張るんだけど、それでは足りないようなところを、もっと大きく捉えて、複合的にもものを見ていくというそういうような突破口というか、ちょっとその辺を鳥居さん、国総研としてか、河川研究部長として、少しお考えをいただければと思います。

鳥居 事前にこの藤田さんのパワーポイントを全員に配られて、ちょっと藤田さんとも議論していたときに、三木さんが言われたような話、私はこのテーマを与えられたときに、河川の維持管理と付けたときに、やっぱり維持管理をどうにかしなければいけないなと思ったんですけども、どうもそれだけではなくて河川管理全般の問題として捉えて河川維持管



理を位置づけないとこの問題は解けないということだということで、さすがに違うなという風に思いました。

それで一方、そういう意味でちょっと河川管理の話だけを捉えても、例えばメカニズムを一生懸命にやっている人間がいる。ある意味でメカニズムを解明するということは、定量的な評価に繋がって行ってそれは説明力を上げていく。それは単なる技術的な説明を、さらに社会的に説明をしようとしたときにも、やっぱり技術的な定量評価がなければ社会に定量的な提示はできないという中で、やっぱりある程度進めていかなければいけない技術だと思っています。

ただ、今までみたいにならなくて、遠いところを目指しているのではなくて、段階的に発展していくとか、PDCAサイクル的に仮説を立てて、それを実証して、またそれを修正していく、という流れがきちんと導入されていかないと、何となく「それができるまで国民に説明できないのか」というような話になりかねない。やっぱり明日説明する道具を作っていくということで、メカニズムの解明についてはチャレンジしていかなければいけないなというように思っています。

一方、やっぱり管理の中心は経験に負っている部分も多いわけで、その部分は改めて重要だと思っています。それを経験の部分とさっき言ったメカニズムの部分を繋いでいるのが情報の部分で、情報をどうやってストックして、うまく使っていくか。メカニズム、あるいは説明するときにもやっぱりエビデンスとファクトとしての情報が必要不可欠で、それを今までどおりに集めていけばいいのか、あるいは新たな技術を導入しながら集めていくのかということだと思っています。だから情報戦略としても、やっぱりある程度の研究を前に進めていく必要があるんじゃないかと思っています。そういう意味で、全体として説明力を高めていくということが、今後の河川のこの分野の研究の重要なテーマになっているんじゃないかなと理解しております。

藤田 ありがとうございます。少し繰り返しになりますが、今までのやり方とは違うやり方を全部自分たちがやる必要はないんだけど、少し横を見ながらとか、複線的にとか、やっぱり堤防という、これだけ難しい対象を相手にしているので、そこをもうちょっと意図的にと言うか、自然体もいいんだけど、意図的にやるようなものを。

だから水防で言うと、もうちょっと洗練された水防だとかね。だけど先人はすごくて、もう全部「水防」と憂慮しているんですね。だけど、我々現代の人間はまだちょっとその活かし方が足りないんじゃないかなということ、私も皆さんの話を聞いていて改めて感じました。

それでスライド25にちょっと臨床の話をしました。先ほどの佐々木さんのプレゼンテーションを少し利用して言うと、起こったことに対して、これが悪かったとか、こういう原因だったということは、病理学的に、病気の症状はたぶん分かる。だけど、事前に分かったかとか、事前にその病気を治せたか、というところが意外に弱い、ということなんですよ。

そこがまさに既に議論に出ましたけれども、そういうところで技術の開発の方向性だとかリーダーシップをとっていかないと、病理学だけに満足していると、という橋梁の専門家から聞いたその話を改めて今、佐々木さんのスライドを見て思い出して、それで服部さんのところも含めて災害の分析とか随分やってきていて、完全には臨床まで行ってないかもしれないけれど、次に同じことを繰り返さないためにこうしなければいけないという、かなり病気の治し方の話まで踏み込んだナレッジを少しずつ勉強しているってこともあるので、そういうものを、まあ、行政の責任の難しい問題もあるんだけど、やっぱり「技術的に分かったことを共有して実際の実務に生かす」という、その道筋をもうちょっと強化して、逆にそういうことで本物になった技術は本当に使えるはずなので、この点をもう一回強調しておきたいなと思いました。その辺で何かありま



すか。

**佐々木** やっぱり事例というのが非常に大切だと思っていて、やっぱり河川で難しかったのは、破堤にしたのがなくなってしまうというのが本当に難しく、だから中途半端なものの評価というのがやっぱり非常に重要なのかなと。ですから、そういう蓄積、災害事例の蓄積というのが重要です。特にちょっとした変状の情報、それを常にデータベースにストックしていく。その流れというのは今後のこういう検討には非常に重要になってくるのかなというように考えております。

**藤田** 時岡さんに質問になってしまうんですけど、自分の経験で申しわけないんですが、福島荒川の右岸堤が切れたときに、直さないでずっと現場で待っていてくれたんですよ。夜中の1時ぐらいに着いたら、皓々と電気がついていて、洗掘で壊れたのか、侵食なのか、そうしたら見事に護岸の基礎が残っていたんですね。それで、これは下がやられたんじゃないかと、やっぱり高流速だという議論ができた。ああいう中に、現場の、これはちゃんと解明しないと次の復旧に進めないという意思が見えたような気がしました。

一方で、災害の分析の事例はどこが原因だったのかというのはなかなか行政の中でも教育が難しい。それで注意しなければいけないことは多々あるということは理解しているんだけど、それも十分踏まえた上で、やっぱりこういう何が原因で、どう直したらいいのか、次に何に気をつけなければいけないかということ、やっぱり現場の人が日々勉強するような雰囲気を、国総研とか土研も頑張らなければいけないんだけど、それを共有するという意味では本省の意思がすごく重要だと思うんですけど、どうでしょうか。

**時岡** 例えば維持管理とか危機管理の分野では同じ失敗を繰り返さないと言うか、同じことはしないぞというのが非常に大事なんで、そうなるとうっかりその前の事例というのが非常に大事になってくるので、今は各地方整備局でもそういう事例は共有しま

しょうということに力を入れておまして、どこそこの事例を皆さん共有しましょうとか、あそこでこういう対応をしたよというのを共有することになっています。それで、土研のナレッジデータベースとか、特に堤防の被災調査は充実していますので、そのあたりはデータベースはあるんですが、なかなかのぞかないということもありますので、貰ったレポートは各地整に送ってそれを見ていただく。そういう取り組みはしているところです。

それで本当はステップのところで行ければいいんですが、やっぱり荒川のようにはならず、やはり今、被災が起こるとやっぱり速やかに復旧に入ってしまうんですね。この前も補助河川も行かれたときにはもう既に大分復旧済で、現場のところは乱れた状態というところが実際でした。今、災害が起こった後にすぐに対応というところは若干時間があるというのはありながらも、やはり原因調査のところは過年度も連名で必ずその日のうちに堤防調査委員会を立ち上げて、被災の原因調査の方の準備をしなさい、当日、極力行けるよというところは行っております。そのような経験を共有するという意識は地整とともに持っているのですが、せっかく整備されたナレッジデータベースとかをうまく活用するところが足りないなど、本省としては感じていますので、そこは取り組んでいきたいと思っています。

**藤田** 地域の心配と引きかえというのはよくないと思うので、それは地域によって対応するということだと思いますが、ではその中で工夫がそれぞれできるというところが改めて思いましたので、よろしくお願いします。

大分、流れで少し事前のシナリオとは若干ずれた部分もありましたが、けっこう大事なことを議論させていただいたと思います。それで、今までのお話を聞いていただいて、こういう点をぜひ言いたいという方がいらっしゃったら、この場で手を挙げにくいと言わずに、ぜひコメントでも、どんな質問でもけっこうですのでいただければと思います。会場の皆さん、いかがでしょうか。

質問者1 今日はいろいろな方の話を聞けて勉強になりました。最初に藤田さんから、今日の議論の中で4つの形に分類するという話があって、左半分が現象とか分かっているパターン、それで右半分があまり分かっていないパターンで、それで上の段は定量的にできそうで、下の段はあまりできないというような、そういうような分類があったと思います。

それで、そういう中でフォルトツリーみたいなものだと、何となく左半分みたいな、現象的に分かっている部分についてはツリー図にできるけど、右半分のようなまだよく分かっていないところ、今日は服部さんとか佐々木さんがその難しいところについてご意見を発表していただきました。そういうところで、維持管理の話になると、どうしても主体的には定期横断とか、今まであって、もう分かっているようなことをどう効率的にするかというところが何となく議論の中心になりがちなのですが、途中からの議論にもあるように、右半分のよく分かっていないところをどうやっていけばいいのか、予算もない中でどういうように絞り込んでいくか、という風な目的にも合致していきますので、そういうところが何となく維持管理と研究は別物みたいな感じで誤解される方もいますが、そういうところが大事なかなと今日は感じました。どうもありがとうございました。

藤田 ありがとうございます。人材も含めてそういうことを読み取れる人が増えていくという状況を作るのはすごく大事だと思います。そこになると専門性とか、人に依存するようなところがあると思いますので。だから、そういうことをすごくやっていて面白い、脚光を浴びるような、そういったこともちょっと考えていくのかなということを思いました。ありがとうございます。他にいかがでしょうか。よろしいですか。

では、すみません、皆様のご期待にどれくらい添えたか分かりませんが、ひとつ。

何か変えればいいというものじゃないけれど、今までやってきたものの努力はよしとするにしても、

その上で、どこに課題があって、新たに踏み出す方向がどこにあるのか、ということのを常に考えていくということのきっかけになればというのが1つであります。

それからもう1つは、やっぱり先ほども言いましたように、単一のやり方だけに関心を持つのではなくて、ちょっと隣を見るとか、複線で見ているということ。だから自分の専門はあるんだけど、隣のやり方に少し口を出すとか、やっぱりそういうことがこの分野でも存在しないと、あまりにもきれいに「自分はこの分野ですよ」とやってしまうと……。

じゃあ2つの分野を議論し出すと方向性の議論になるんですね。だから、そういうような世界をこういう河川という場でやっているものであればこそ、なおさら活性化するというのも大事なと。

すみません、今日はある知見を皆さんに提供するというにはならなかったんですが、少しでもものを考える展開のヒントになっていたとするならば大変ありがたいと思っています。

そういう意味で、2時間半ぐらい一緒に考える時間を共有できたことに感謝申し上げて、それから事務局の河川財団さん、本当に4回にわたってありがとうございます。それからパネリストの皆さん、かなり無理難題を言いましたが、第1回にすごく貴重な技術的な知見や取り組みを紹介いただいた永矢さん、堀内さん、佐藤さんにも感謝申し上げます。私の今日の締めのご挨拶とさせていただきます。どうもありがとうございました。(拍手)

#### <閉会>

安原 ありがとうございます。それではこれにて本日のプログラムは全て終了となります。

最後になりますが、今回は今年の全4回の河川研究セミナーの最終回になりますので、当財団の理事長の関より閉会の挨拶を申し上げます。

関 河川財団の関でございます。今年度4回目、最終ということで一言ご挨拶を申し上げたいと思います。

冒頭にありましたが、河川研究セミナーは実は今年で4年目になりまして、私も遡ると最初は平成24年のリスクを意識した技術体系、あるいは津波防災というようなテーマ、それから平成25年が河道設計、平成26年が総合土砂管理、そして今年は河川の維持管理ということで進めてまいりました。そういう中で、実は去年から途中で会場を大きくしまして、今日も非常に多くの皆様方に参加いただきました。

しかも分野が行政の皆さん、研究の皆さんから始まって、測る方、地質の方、あるいは測量、それからメーカーの皆さん等々、非常に広範な分野の方々に参加していただき、本当にありがとうございました。特に藤田研究総務官を初め、国総研、土研の皆様、それから先ほどご意見をいただいた三木さんを初め、知見を多くの方と共有という意味でご苦労いただいたことに改めて感謝申し上げたいと思います。

この河川研究セミナーを河川財団でやっているという思いというか、狙いの一点について少し話をさせていただいて、お礼の挨拶とさせていただきたいと思います。どこから話すかというのがありますが、実は今、私はSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）の「豪雨・竜巻予測技術の研究開発」というのをやっておりまして、内閣府の総合科学技術・イノベーション会議の、年間総額100億円で5年間やるというもので、いろいろな分野をやっているんですが、その中の防災の分野における1つのポイントが、いろいろな研究をしてきたけれど、3・11ではほとんど役に立たなかった、いろいろな研究・新技術が実際の社会にきちんと実装されていなかった、ということがございます。それを3年、5年というタームでいかに実装していくかという、その豪雨・竜巻のところを私が責任を持ってやらせていただいているわけですが、それを河川に置き換えてみても、実はいろいろな技術が開発され、あるいは研究が進んでいます。それを河川の管理の現場の中、体制の中に入れるということが非常に難しい。情報の世界でも難しいですし、計測する世界でも難しい。そういうものをどう考えていくかということ

が、ひとつの重要なテーマではないか。それは多くの分野の方々が、同じ場で、同じ目的を目指して、ある種の一緒の価値観、フレームの中で議論して作り上げていくということしか方法論としてははないのではないか。そういう意味で、今日も非常に広範な分野の皆さん方に集まっていただいて一緒に議論することができたということは、次に向けての第一歩ではないかと思っています。

それから、もう少し河川に置き換えてみると、今回も非常に観測ということが言われたんですが、もう1つ言うと、○、×、△の議論がたくさんありました。私流に言うと、白、黒、グレーです。それから河川の場合はもう1つある。白・黒・グレーすらうまく評価できない、というところもあるわけですし、社会にそれをきちんと理解してもらおうということも重要なことで、そういう位置づけの中でしないと、たぶん佐々木さんも大分苦労されたようなんですけどね。「どこまで分かればいいのかというのは、あなた方が言ってくれ。そうしたら、それを目指して頑張るぞ」という、社会実装というのはそういう性格のものだと思っております、そういうことに向けてこういった場を皆さんに活用していただければと思います。

それから、昨年度から河川財団も戦略的維持管理研究所ということで、広範な分野、広範な技術者、あるいは広範なテーマの中で全体像を作り上げて、位置づけを明確にしていくということを通じて少しお手伝いできればと思っています。

先ほどから佐々木さんと時岡さんのところへ球がいっぱい飛んでいて、本省で本当にご苦労されておりますけれども、そういう皆さん方に少しでも河川財団としてお手伝いできればと考えておりまして、来年に向けてもまたいろいろ考えながら、皆さんともご相談をしながらまた進めていければと思っております。

本当に長時間にわたり、眠くならないような内容にいただきましたこと、感謝申し上げます、最後のご挨拶といたします。本当にありがとうございます

いました。(拍手)

安原 以上で終了でございます。本日はお忙しい中、お集まりいただきましてありがとうございました。

今後も来年度に向けましてまた新たなセミナーを実施してまいりますので、ご期待のほどよろしく願います。

(了)



〒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