

平成28年度

河川研究セミナー講演録
—堤防調査等に関する最近の動向—

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や国立研究開発法人土木研究所等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。5年目となる平成28年度は、「堤防調査等に関する最近の動向」をテーマに取り上げ、4回のセミナーを開催しました。

近年、平成24年の矢部川や平成27年の鬼怒川等、堤防破堤による甚大な出水被害が発生しています。堤防の被災要因は、「洪水による越水、浸透、侵食」、及び「地震による被災」に大別され、堤防の被災防止には、被災要因に対する分析やモニタリング等、堤防の維持管理が重要となります。これらに関して、官学民で様々な研究や対策が行われているところであります。

本セミナーでは、「堤防植生管理」、「湿潤・浸透に対するモニタリング」、「破堤メカニズム解明に向けた水理実験」、「液状化対策」、「被災原因調査」、「河川管理施設の点検と評価」について官学民より講師をお招きし、堤防の被災要因、調査、維持管理方法等に関する最近の動向について講演いただきました。

本講演録は、講師のご了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考としていただければ幸いです。

contents

第1回 堤防植生管理の現状・課題と対策 山田政雄（公益財団法人 河川財団 河川総合研究所 主管研究員） 山本嘉昭（同 上席研究員）	3
堤防の湿潤・浸透に対するモニタリング 阿部知之 氏（一般社団法人 リバーテクノ研究会 地盤ワーキンググループ 幹事）	16
第2回 破堤氾濫被害の軽減に向けた技術開発 船木淳悟 氏（国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 寒地水圏研究グループ グループ長）	29
第3回 河川堤防の液状化対策 佐々木哲也 氏（国立研究開発法人 土木研究所 地質・地盤研究グループ 土質・振動チーム 上席研究員）	55
第4回 河川堤防の被災原因調査と結果の活用について 森 啓年 氏（国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室 主任研究官）	95
堤防等河川管理施設の点検と評価について 藤田 正 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 課長補佐）	112

平成28年度
第1回 河川研究セミナー

第1部
堤防植生管理の現状・課題と対策

山田政雄（公益財団法人 河川財団 河川総合研究所 主管研究員）

山本嘉昭（同 上席研究員）

第2部
堤防の湿潤・浸透に対するモニタリング

阿部知之氏（一般社団法人 リバーテクノ研究会

地盤ワーキンググループ 幹事）

開催日：平成28年6月22日（水）

場 所：AP東京八重洲通り

第1部 堤防植生管理の現状・課題と対策

(公財) 河川財団 河川総合研究所

主管研究員 山田 政雄

上席研究員 山本 嘉昭

山田 それでは「堤防植生管理の現状・課題と対策～効率的、効果的な堤防植生管理に向けて～」と題しまして、河川財団の山田と山本がお話をさせていただきます。

今日の流れでございます。(スライド1) まず1点目に今、河川の現場で何が起きているのか、堤防植生に関連して、堤防管理の実態をまず申し上げて、そして堤防の管理状態がどうなっているのかというお話をします。その上で課題の整理を行いまして、課題で挙げられた問題に関する要因分析を行い、課題に対する対策案を幾つかご紹介したいと思います。そして最後に、その対策案の検討にあたっての確認事項、把握事項のお話をしたいと思います。

まずは「堤防管理の実態」です。(スライド2) ご存じのように、河川堤防は、河川及び流域の治水安全度を確保する上で最も重要な河川管理施設であります。その施設延長も長大で、また土堤という土でのみできてきている部分も多い。その堤防の維持管理には何をしているかと言うと、堤防の表面における異常の有無を点検可能にするために、年に2回の除草を基本に行っています。財務省のホームページ



によりますと、直轄河川109水系の堤防除草の費用というのが、平成25年度で約180億円ぐらいかかっているということです。その総除草面積は5億4,000万㎡にのぼり、非常に膨大な規模のところを施工しています。その費用は、河川によって違いますが、全体的には維持管理予算の中で最も大きなウエイトを占めているというのが事実です。

平成22年から全国的に年2回の除草に切り替わったわけですが、やはり近年増加傾向にある外来植物の侵入・繁茂の影響によって、出水期間中の河川巡視や堤防点検への支障や、一年草のカラシナ等による堤防機能の弱体化等の問題が実際に発生していま

● スライド1



● スライド2



す。この問題は決して限られた河川だけの問題ではなくて、かなり全国規模で起きていると私は認識しております。そして現在、維持管理の予算も頭打ちという中で、現状の維持管理予算の範囲内で実施できる効率的・効果的な堤防植生管理手法が求められています。

本題に入る前に、「堤防植生タイプ区分」というものをご説明したいと思います。(スライド3)これは大きく以下の5つに区分されています。植栽された芝類が残っている①「シバタイプ」、中型のイネ科多年草が優占する②「チガヤタイプ」、そして一番タチの悪い、春の繁茂が旺盛で、外来のイネ科の牧草が優占する③「外来牧草タイプ」です。外来牧草タイプの中には、ネズミホソムギ型、最近かなり問題になっているセイバンモロコシ型、一年草で表面の強度が低下するカラシナ型、あとはやはり草丈の高いセイタカアワダチソウ型などが含まれます。さらに、イタドリとかカラムシのような、いわゆる裸地化の原因になるような④「広葉タイプ」、あまりみられないですが、⑤「オギ・ススキ」というちょっとまとまった大型のイネ科のタイプがあります。

その中から主な堤防植生タイプの特徴を、この①～③のタイプを選んで若干解説したいと思います。(スライド4)右側の図は各タイプの地表面付近の根の張り方を絵にしたものですが、シバはかなり表面に密集している。チガヤは芝生ほどではないけど、深さ方向に幾らか入っている。ところが外来牧草タイプというのは、やはり根の量が少ない。つまり外

来牧草タイプはシバ・チガヤタイプに比べ、堤防植生に求められている機能としての耐侵食性が低いというのが一般的な知見です。

さらに下の段の写真ですが、堤防点検とか出水期間中の変状の発見のしやすさという観点で見ますと、当然シバタイプというのは草丈が低いですから異常が発見しやすい。ただ、シバタイプを維持するには年4回以上の刈り取りが必要で、現在の年2回ではいずれは外来牧草タイプに遷移してしまいます。

チガヤタイプは草丈がやや高くなります。これは実はやはり外来植物の構成度合いによっては、チガヤも草丈が高くなったり、あとは成長のいいものがあると、やはり河川巡視とか堤防点検に支障を与えている。

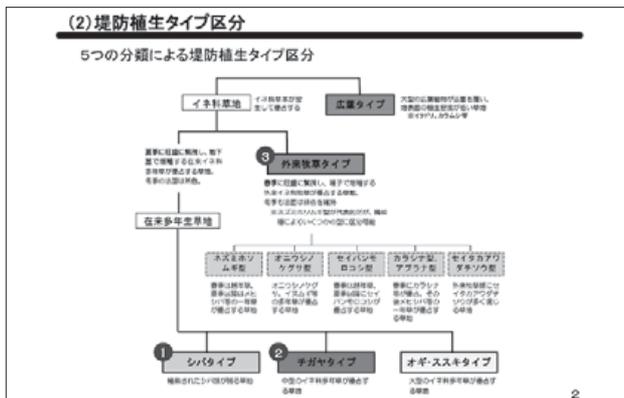
ちなみに外来牧草タイプは、草丈が1mを超えるようなものはざらにあって、当然、異常の発見が困難になります。こういう事柄も特に出水期間中の河川巡視、堤防点検に支障を与えているということです。

続いて、「堤防の管理状態」について、当財団の山本からご説明申し上げます。

山本 私の方からは、堤防の管理状態についてご説明させていただきたいと思います。

今、山田からお話があったように、堤防植生タイプは5つに分かれているということですが、この中で、主に「シバタイプ」「チガヤタイプ」「外来牧草タイプ」の3つに絞って見ていただこうと思います。

● スライド3



● スライド4



まず「堤防植生の現状」です。(スライド5)ここでは近年「堤防植生タイプ区分調査」という、先ほどのタイプ区分に着目した調査を私どもで行っております。それに関して4つの河川で実施した結果をご説明させていただきます。

まず最初の事例は、利根川の上流です。ここではシバタイプが約10%。そしてチガヤタイプが65%、そして外来牧草タイプが15%と、見ていただくと分かるように、チガヤタイプが多い河川であるということが分かっております。

2つ目の事例は利根川の下流部です。こちらではシバタイプが30%、そしてチガヤタイプが55%、外来牧草タイプが約15%というように、利根川下流部でもチガヤタイプが主に見られるということで、利根川全体で見てもチガヤが多いということが言えます。このチガヤが多いというのはなぜかなと思った時に、やはり利根川は堤防が大きいということ、堤防が大きいことによって地表面が少し乾燥の傾向にある。それでチガヤというのは乾燥の傾向を好む植物ですので、そういった要因で利根川はチガヤが多いのではないかと考えております。

続きまして3事例目は多摩川です。こちらはシバタイプが約10%、そしてチガヤタイプが40%、外来牧草タイプが50%と、かなり外来牧草が多いですね。外来牧草タイプが約半分を占めるような河川となっております。こちらのデータは平成22年、23年という少し古いデータですが、約半分以上を外来牧草が占めるという傾向は今も変わっていないと思われま

● スライド5

2. 堤防の管理状態		
(1) 堤防植生の現状		
以下に、近年において、堤防植生タイプ区分調査を実施している4河川について整理		
河川名	特徴	割合
1) 利根川上流	・チガヤタイプが主体の河川	・シバタイプ約10% ・チガヤタイプ約65% ・外来牧草タイプ約15%
2) 利根川下流	・チガヤタイプが主体の河川	・シバタイプ約30% ・チガヤタイプ約55% ・外来牧草タイプ約15%
3) 多摩川	・外来牧草タイプが約半分を占める河川	・シバタイプ約10% ・チガヤタイプ約40% ・外来牧草タイプ約50%
4) 渡良瀬川	・チガヤタイプと外来牧草タイプが多く、カラシナの繁茂が顕著な河川	・シバタイプ約20% ・チガヤタイプ約40% ・外来牧草タイプ約40%



それで最近には特にセイバンモロコシ、こちらの方が外来牧草としてよく見られる。セイバンモロコシ自体は平成10年ごろから見られるようになった植物なんですが、だんだんと除草回数が少なくなるという中で、セイバンモロコシは徐々に見られるようになっております。これは他の河川でも同じような状態です。

4つ目の事例でございますが、渡良瀬川です。渡良瀬川につきましてはシバタイプが20%、チガヤタイプが40%、そして外来牧草タイプが40%と、チガヤタイプと外来牧草タイプでほぼ40%ぐらいを占めている河川でございますが、この渡良瀬川は、特に外来牧草タイプの中身を見てみますと、ネズミホソムギ型とカラシナ型が主となっています。

カラシナは、春には黄色い花を咲かせてけっこうきれいだということも言われますが、堤防には多少なりと影響を与える植物でもあるということです。

参考までに、関東地方整備局管内のカラシナの分布概況をご紹介します。このブルーが川、その横に赤く示しているのが、カラシナが分布しているところ。渡良瀬川のところにはこの赤い印がたくさん付いています。このように渡良瀬川以外の河川でもカラシナが見られるという状況で、カラシナは今日、堤防植生の中でも特に問題となっている植物であるということが言えます。

以上、シバ、チガヤ、外来牧草という3つのタイプ区分についてお話をさせていただきましたが、そのうちシバの状況をもう少しご説明したいと思います。

築堤時にはシバを張って堤体の表面を守るということが行われております。この堤体の表面に張ったシバは、3年間の養生をするというのが基本となっておりますが、その3年間の養生期間はどのような状況にあるのかということをご説明させていただきます。(スライド6)

堤防の養生期間中の植栽の状況なんですが、まず完成したら今お話をしたように養生というものを行います。ここではA河川とB河川を示しておりますが、まず1年目は堤防を造った時にシバを張りますが、その時に養生をしておりますので、シバがほぼ保たれています。シバを活着するためには少し手間をかけていくということで、3年間はそのシバの状況が見られます。場所によっては少し外来牧草が混入しているような部分も見られますが、おおむねシバが保たれているだろうというところなんです。

一方、3年間の堤防養生期間が終わりますと今度は完成堤ということで、通常年2回の堤防除草に移行していきませんが、このような状況に入った時には良好な状態のシバタイプというのはあまり見られず、やがて外来牧草タイプに遷移していくというような状況が見られています。このような状況から、堤防養生後3年目を以降になりますと通常の維持管理ではシバタイプが良好な状態で維持されずに、外来牧草タイプに変わってってしまうという傾向にあるということが分かりました。それで結論としまして、堤防においてはシバの変遷の状況が顕著であるということで、なかなかシバという状況を保ててい

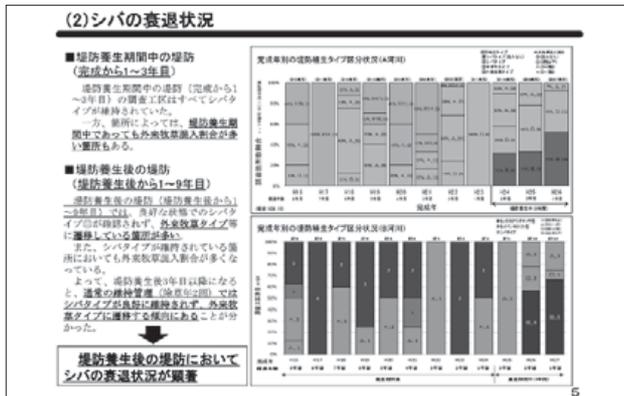
ないということです。

次に、「堤防の弱体化」と書いてありますが、では堤防はどのように変わってってしまうのかというところをご説明したいと思います。(スライド7)先程から、シバ、チガヤ、外来牧草タイプという3つのタイプでご説明させていただいておりますが、耐侵食性という面では、外来植物の侵入・繁茂等の影響による堤防植生の耐侵食性の低下が問題になります。当初シバであったものが、外来牧草に遷移していくということなんですが、ではなぜ外来牧草は耐侵食性があまり良くないのか。耐侵食性は根系、根の深さと密度によって決まります。

こちらはそれをグラフで示したものです。この一番上、表層から3cmのところでは、根毛量はシバが多くて外来牧草が少なくなっています。また10cmという深さで見ていただくと、やはりシバの根毛量、チガヤの根毛量に比べ、外来牧草は少なくなっているというようなことが分かります。このような堤防植生の耐侵食性、シバ、チガヤタイプが外来牧草タイプよりも優れているというのは、これで見えていただけるかなと思います。

外来牧草タイプのうちでも、特にカラシナによる堤防の弱体化が著しいということなんですが、下の方にカラシナの生育段階というのを示しております。夏にカラシナの種子が地面に落ち、秋から冬にかけて根がダイコン状に肥大化していきます。この写真のダイコンのように真っ白なものがカラシナの根です。これが今度は春先から開花していき、そし

● スライド6



● スライド7



てだんだんと枯れていきます。カラシナは一年草ですから、1年間でその一生を終えてしまいます。すると、この太くなった根が枯れてゆき、今度は枯れたところが堆肥化、有機分解され、堤防自体がフカフカになるという状況で、これが堤防の弱体化を引き起こします。

また、「コーン貫入試験」ということで、堤体の強度を示したものを次のスライドに示しております。(スライド8) この実験ではシバタイプのコーン貫入の抵抗が大きいという結果になりました。要は堤体の強度がかなり強くて、貫入の深度が最も小さい。コーン貫入の試験器がなかなか中に突き刺さっていかないということが示されております。これがやはりシバが一番強くて、次にチガヤ、外来牧草タイプと、先程の根毛量の話と同じ順番になるということです。

次に、「河川巡視・堤防点検への支障」です。(スライド9) シバタイプは河川巡視、堤防点検への支障という点では、草丈が低いので堤防の異常が発見しやすい。そしてチガヤタイプですが、これは草丈がやや高くなる。そして外来植物が混生した場合には、その度合いによって、河川巡視、堤防点検は目視で行いますが、それらへの支障が見られる。そのためには適切な管理が必要であるというところ です。

外来牧草タイプにつきましては、写真で見てくださいと分かる通り、かなり背が高いので、河川巡視、堤防点検への支障があります。河川巡視は

天端から堤防表面における変状を目視で見っていますが、それがなかなかしにくいということで、これら外来植物の侵入・繁茂等の影響によって出水期間中の河川巡視、堤防点検の支障が発生しているということになります。

ここで課題の整理をします。(スライド10) 堤防の維持管理、これは年2回の除草と年1回の集草、これを基本に実施しているところですが、年2回の除草では出水期間中の河川巡視、堤防点検の支障、そしてカラシナによる堤防機能の弱体化等の問題が発生しており、現在の、維持管理の予算が厳しい状況の中でいかに効率的、適切な堤防植生管理を行っていくのが課題になっているという状況です。

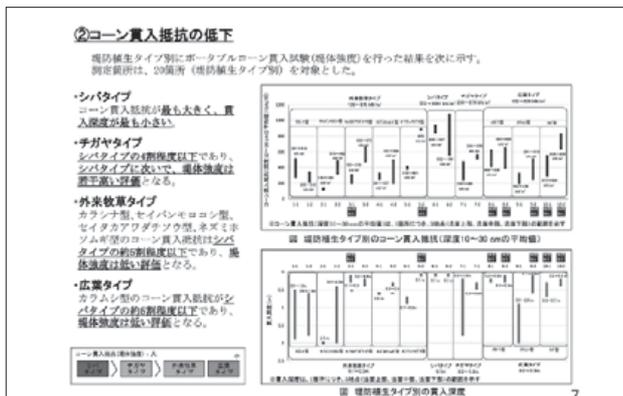
さて、このような課題を上げましたが、ではこのような管理における問題点、要因分析について少しだけお話をさせていただきます。(スライド11)

この要因ですが、2つのことが言えます。

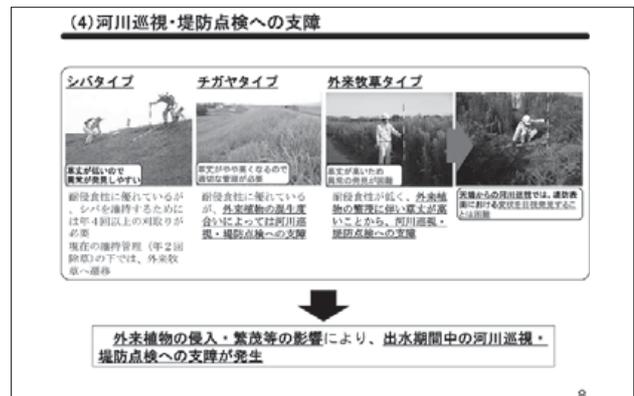
1つ目の要因は「農薬の使用の禁止」ということです。平成2年以前、直轄の河川堤防では農薬を使用して管理をしていました。しかしながら、ゴルフ場における農薬の薬害が問題となりまして、平成2年に「農薬の使用に関する河川の維持管理について」という事務連絡がございました。これで原則的に上水道取水口の上流区域で農薬を使用することが取り止めになりました。こちらの右側に示しているのがその事務連絡です。

農薬を使用している時代、つまり平成2年以前には、全体的に草丈は高くなかったようなことも聞いて

● スライド8



● スライド9



ています。

そしてこれが今、皆さんもよくご覧になっているかと思いますが、現在の『河川砂防技術基準 維持管理編』です。こちらでは「除草剤については、大河川において農薬の使用に関する通知により使用しないこと」となっています。これが1つ目の要因ではないかと思えます。

2つ目の要因です。(スライド12) 先程から、年2回の除草という話をしてきました。しかし、平成2年までは除草が2~3回行われ、かつ農薬が使われていました。または野焼きということも行われていました。かつてはこのように多様な堤防の植生管理手法がありましたが、平成2年の農薬の使用の禁止、あるいはその後の平成4年には野焼きの禁止がなされ、この段階で農薬の使用、野焼きが行われなくなりました。そして平成5年以降は3回~5回の除草が行われてきましたが、今度はイネ科花粉症の発生というような問題も出てきています。

さらに平成22年には、年2回の除草にしなさいと

● スライド10

● スライド11

いうことになり、これ以降は除草回数が年2回とされました。この年2回の除草に移行したことによってシバの衰退、外来植物の繁茂というようなことが見られるようになり、そしてカラシナによる堤体の弱体化、河川巡視、堤防点検への支障など、さまざまな堤防への影響が出てきた、ということです。また、一部の河川ではセイバンモロコシ繁茂による処分費増大や、イノシシによる堤防法面の掘り起こしなどの問題も出てきています。

以上、除草回数の減少ということが今の堤防に与えている影響というものがいくつか抽出されたところとす。

山田 以上の要因分析等を踏まえまして、現時点で考えられる対策案を以下の4点ほどご紹介したいと思います。(スライド13)

1つ目は、新たな堤防管理手法として、植物成長調整剤、先ほど出ていた農薬の使用による対策です。2つ目は、堤防特性に応じた堤防除草による対策。3つ目は、低草丈草種の導入による対策。4つ目はその他として、堤防植生に適した植生基盤土質を導入する対策の研究を始めていることをご紹介します。まず1つ目の植物成長調整剤を用いた対策です。(スライド14) これは堤防植生タイプごとにいろいろ課題が出てくると思いますが、そういう課題をよく考えて、まず堤防植生の管理目標というものを設定する。大きくは現状の維持管理コスト程度の範囲で、堤防機能の低下や堤防点検に支障のない堤防植

● スライド12

年代	堤防植生管理方法	社会的動向	堤防への影響
~H2	除草2~3回(農薬+野焼き)	H2.3農薬の使用禁止(事務連絡)	
H3~H4	除草3~5回(+野焼き)	H4.7野焼きの禁止(決壊法の改正)	
H5~H21	除草3~5回		イネ科花粉症の発生
H22~27	除草2回(農薬1回)	年2回除草(農薬1回)への移行	<ul style="list-style-type: none"> 年2回除草によるシバの衰退 年2回除草による外来植物の繁茂 カラシナによる堤体の弱体化 河川巡視や堤防点検への支障 セイバンモロコシ繁茂による処分費増大 イノシシによる堤防法面の掘り起こし

生管理を行うということです。

外来牧草タイプの堤防については、カラシナ等の外来牧草をまず衰退させて、その後にシバやチガヤへの植生の転換を図っていく。シバタイプの堤防はそのまま維持していくのがベストなので、現状の植生を保つように管理する。チガヤタイプの堤防では、若干草丈が高くなる傾向がありますので、草丈管理を前提としつつ現状の植生を保つ、ということです。

それから、ここで堤防植生管理手法を整理したいと思います。(スライド15) いろいろ方法はあるのですが、現状行われている刈取りという方法、それとかつて行われていた伝統的な芝焼きという方法、そして植物成長調整剤の散布という方法、大きく3つの方法があるんですが、それらをコストを考慮した上での組み合わせ手法を考えてあります。

方法の一つとして、植物成長調整剤という、有効性のある材料を使うわけですが、その使用に至った経緯とその安全性についてお話をします。(スライド16) 近年、農薬取締法の改正によって植物成長

調整剤の安全性が非常に向上して、使用については問題ないというのが事実なんです。現在の調整剤は、農薬取締法によって農林水産省において登録されたものしか使用できません。その安全性というのは登録に当たって十分な試験を行って、実際に使う時には規定の使用量、それから散布方法まで指定を受けておりますから、その範囲で行っていけば人体、環境、生物への影響はないということが確認されているという材料です。

以前、この検討が始まる前は私もそうだったんですが、昔の農薬のイメージというのは、最近の若い方は「ベトナム戦争」と言ってもよく分からないかと思いますが、そこで使用された枯葉剤等の影響で、農薬に対して非常に悪いイメージが持たれており、また、国内においてもさまざまな問題が発生してきました。しかし、平成14年、15年に、無登録農薬の製造や輸入の禁止、使用規制の創設、罰則規定、使用基準の設定、それから違法農薬の販売者への回収等の命令というような非常に大きな改正がなされ、農薬の安全性というものが向上しております。整理しますと、スライド16の下段に書いてありますように、登録されたものしか使用できなくなった。それから残留性、毒性のないものしか使用できないということになりました。

さらに当財団も関わっていますが、平成25、26年に河川外の試験場で現地実証実験を行った際に、安全性の確認実験も行っています。(スライド17) もともと成長調整剤は安全なんです、まだやはり理

● スライド13

5. 課題に対する対策(案)について

- (1) 新たな堤防植生管理手法(植物成長調整剤の使用)による対策
- (2) 堤防特性(治水重要度・堤防安全度)に応じた堤防除草による対策
- (3) 低草丈草種の導入による対策
- (4) その他: 堤防植生に適した植生基盤土質を導入する対策の研究

12

● スライド14

(1) 新たな堤防植生管理手法(植物成長調整剤の使用)による対策

① 堤防植生タイプ毎の課題を踏まえた目標の設定

堤防植生タイプ毎の課題を踏まえた堤防植生管理の目標を設定することで、効果的な堤防植生管理を図ることが可能となる。

堤防植生管理目標の設定例

現状の維持管理コスト程度の範囲で、堤防機能の低下や堤防点検等に支障のない堤防植生管理を行う。

- ① 外来牧草タイプの堤防
カラシナ等の外来牧草を衰退させ、シバやチガヤへの植生の転換を図る。
- ② シバタイプの堤防
現状の植生を保つように管理する。
- ③ チガヤタイプの堤防
草丈管理を前提に現状の植生を保つように管理する。

13

● スライド15

② 堤防植生管理手法の整理

現行の「刈取り」と伝統的な「芝焼き」と「植物成長調整剤散布」を組み合わせた新たな管理手法

- ・「刈取り」による管理手法
- ・「芝焼き」による管理手法
- ・「植物成長調整剤」を用いた管理手法
- ・「刈取り」と「芝焼き」による管理手法
- ・「刈取り」と「植物成長調整剤」による管理手法
- ・「植物成長調整剤」と「芝焼き」による管理手法



14



解していただけない方も多いので、いわゆる有効成分の固定分解状況を確認する実験を行っております。その結果は上段の右側のグラフにありますように、3週間後にはおおむね固定分解がされ、10週間後にはもう検出されなくなったという確認がなされました。

さらに、やはり雨が降って流れてしまうんじゃないかという懸念がありますので、流出の有無についても確認しています。下段の一番左の写真にあるように、植物成長調整剤散布24時間後に、30mm/h程度の土砂降りに相当する人工降雨を降らせて、その1時間後、1日後にどうなっているかという実験です。結果は、こちらのグラフにあるように、散布箇所50cm下でも全くそういう成分が検出されませんでした。つまり流出というのは考えられないということになります。

それで、ちょっとお話をしますと、築堤時にはシバが張られていると思いますが、そこではいわゆるピース状の張芝が搬入されていますが、その生産地

においては雑草対策が完璧に行われています。雑草が混ざっていると施工業者さんが受け取らないようなのですが、では、そこでの雑草対策には一体何を使っているかという、農薬です。農薬を使用したものが張芝として現地に搬入されている。つまり農薬というのは既に使われているものなのです。

それで、これが先ほどの河川外試験場での現地実証結果で、一応ケーススタディとして9ケースやった中の1つを表しています。(スライド18) 外来牧草タイプのカラシナ型のケースです。縦軸が草丈、横軸がカレンダーを示しています。ここで示すように、11月に成長調整剤、よくホームセンターで見かける「ラウンドアップ」という調整剤を散布します。散布直後に、カラシナが完全に衰退していることを確認しています。さらにはラウンドアップによって草丈の抑制が図られ、そして芝焼きとの組み合わせです。2月にシバを焼くと草丈も抑制されます。その後の7月以降の繁茂時期においても、年2回刈り取りという従来のやり方に比べて、特に8月から9月のあたりでは格段に草丈が下がっています。こちらの写真を見ていただくと、成長調整剤を使った時と使わなかった時の差が分かります。広葉植物が完全に抑制されているので、河川巡視とか堤防点検の際に、あるいは同じ草丈であっても見やすさがはるかに向上しています。

これが9ケースをまとめたものです。(スライド19) 上の表にありますように、赤丸が付いている6ケースが、単価、効果の評価、それからコスト評価

● スライド16

③農薬取締法の改正による安全性の向上

現在の『植物成長調整剤』は、農薬取締法により農薬の範囲において登録されているものしか使用できない。登録にあたっては、安全性を確認する試験を十分に行い、規定の使用量及び散布方法において、人体や環境、生物への影響がないことが確認されている。

昔の農薬のイメージ
DDT、パラチオンなどの殺虫剤やベトナム戦争で使用された枯葉剤も農薬と言われていた。

農薬取締法の改正(抜粋)
昭和46年：登録制度の強化、農薬の使用規制の整備
農薬の製造及び輸入の禁止
平成14年：無登録農薬の製造及び輸入の禁止
無登録農薬の使用規制の創設、法律違反の罰則の強化
農薬の使用基準の設定、
平成15年：違法農薬の販賣に対する販賣者への罰則等の創設

現在の植物成長調整剤
○ 農林水産省に登録したものしか使用できなくなった。
○ 残毒性や毒性がないものしか使用できなくなった。

15

● スライド17

④植物成長調整剤の散布時における安全性の確認
河川外試験場における現地実証実験時
(H25, 26年度)の安全性確認結果

実験で使用する各種植物成長調整剤は、その安全性が確認されたものであるが、有効成分の固定分解状況や流出の有無について一般的に懸念される面もあることから、実験に際して安全性を確認した。

●固定分解状況の確認
液剤タイプ(例:シュートキープ)

●流出の有無の確認

実験区画下0.5m, 4m, 10m

人工降雨状況

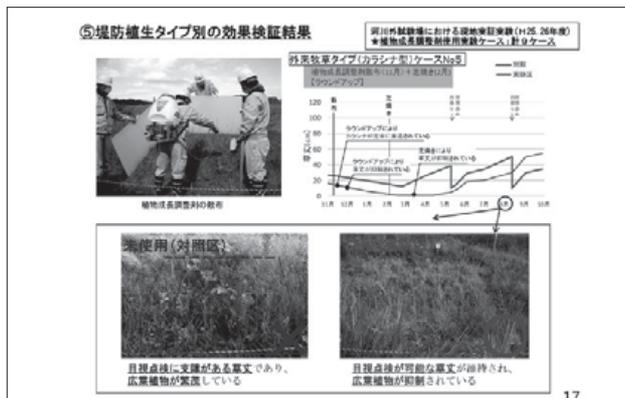
安全性を確認

16

における総合評価で、優れているものです。それらをまとめますと、左側に挙げてありますように、現在の年2回の除草では解決できなかった出水期間中の河川巡視、堤防点検の支障が解消できるということです。それから前述のとおり農薬取締法に基づくので、安全性についても◎だと。あとはコストの面なのですが、下の表はある河川での実際に、実験で得られたものを背後地の家の状況等に応じて使い分けた上で試算してみますと、約30%程度のコスト縮減が見込めるというものです。それで、この縮減できた費用は、もともと厳しい維持管理予算ですから、それ以外のいわゆる堤防の質を全体的に向上させる作業に活用できる。これが重要ではないかと思っています。

続いて2つ目の対策、堤防特性に応じた堤防除草による対策です。(スライド20) これは堤防植生管理に求められる維持管理水準をどう考えるのか、重要水防箇所などの治水重要度の違いとか、それからスーパー堤防のように断面の大きいところ、そういった堤防ごとの安全度、形式の違いによって、必ずしも全区間にわたって同じ目線で維持管理をしなくてもいいんじゃないか、という考え方にに基づく方法です。その時に治水重要度と安全度というものを指標にした「堤防特性ランク」というものを設けまして、現状の堤防植生ごとにその堤防植生ランクに応じた、いわゆる河川巡視とか堤防点検に支障が出ない草丈になるように、除草回数のメリハリを付けてしまうという考え方です。

● スライド18



それで具体的に、堤防特性ランクというのはどのように考えるかと言うと、治水重要度ですから当該河川の最新の重要水防箇所というものをベースに考えます。(スライド21) 下のこの表では堤防特性ランクのAランクでは、重要水防箇所の重点箇所とAランク箇所、それでBランクではBランク箇所と要注意箇所、Cランクは重要水防箇所以外というように位置づけております。

次に、先程言った堤防安全度の違いを評価して、最終的な堤防特性ランクを決めていきます。例えば高水護岸だと、最近では覆土護岸が多いです。それからスーパー堤防のように断面が大きいとか、そういうものはいわゆる規定断面の土堤区間に比べたら、洪水時の被害リスクが低いだろうということで、そういう場所はこの堤防特性ランクを1ランクダウンさせます。

今説明したのがこの赤枠の範囲で、そしてAランクは点検とか河川巡視に支障がないように、草丈50cm以下に保つ基準を設けている。Bランクは

● スライド19

⑥植物成長調整剤を用いた堤防植生管理手法のまとめ

河川内試験場における現地実証実験(1425, 26年度)
*堤防植生タイプ別除草回数削減率(%)・対照ケース

表 実験ケース別のコスト削減と削減率の算出結果

堤防植生タイプ	実験ケース	削減率(%)	削減率(%)	削減率(%)	削減率(%)
Aランク	標準管理(対照)	100	100	100	100
	調整剤使用	70	30	30	30
Bランク	標準管理(対照)	100	100	100	100
	調整剤使用	70	30	30	30
Cランク	標準管理(対照)	100	100	100	100
	調整剤使用	70	30	30	30

表 削減コストの算出結果(対照)

堤防植生タイプ	標準管理(対照)	調整剤使用	削減率(%)	削減率(%)	削減率(%)
Aランク	1,000,000	700,000	30	30	30
Bランク	1,000,000	700,000	30	30	30
Cランク	1,000,000	700,000	30	30	30

● スライド20

(2) 堤防特性(治水重要度・堤防安全度)に応じた堤防除草による対策

①堤防特性に応じた堤防点検等に支障がない草丈管理

- 堤防植生管理に求められる維持管理水準は、重要水防箇所などの治水重要度の違いや、スーパー堤防など堤防断面が比較的大きい堤防区間などの堤防安全度に違いがある等、必ずしも全区間の堤防に等しく求められるものではない。
- この考え方により、治水重要度、堤防安全度を指標とした堤防特性ランクを設定する。
- 現状の堤防植生タイプ毎に堤防特性ランク(治水重要度、堤防安全度)に応じて、出水期間中の河川巡視・堤防点検等に支障が出ない草丈となる除草回数・時期を変えた堤防植生管理基準(案)を設定する。

堤防植生管理目標の設定

- 適切な堤防の維持管理を実施していくため、堤防特性(治水重要度、堤防安全度)に応じた堤防植生管理基準(案)を設定し、出水期間中の河川巡視・堤防点検等に支障が出ない草丈となるよう管理する。

外来牧草タイプは粘性土が多い傾向にありました。これは将来的に適した土質を導入するという観点では、堤体材料の粒度分布等での選定になるのではないかと思います。それから全窒素では、施工後間もないシバタイプ、これはシバタイプ堤防等が低い傾向にある。だからシバを維持したいのであれば、初期時の肥料調整が必要になってくるんじゃないかなと思います。それからpHでは、外来牧草はややアルカリ性の傾向、それから在来植物ではやや酸性の傾向がありました。これも適した土質にするためには、pH調整をする必要が出てくるんじゃないかなと思います。

最後になりますが、こういう対策案を検討するに当たりまして、やはり当該河川の植生の現況を全体的に把握しなければいけないと考えます。(スライド26) そうするという事は、堤防植生タイプ区分調査を実施しないと分からないはずで。水辺の国勢調査では堤防そのもの、堤体の調査は行っておりません。ですから、新たに調査することが重要で。特に河川管理者の方は自分の管理している堤防は、どういう草で、どうなっているのかということを知るべきだと思います。

それで50m単位ぐらいで、優占しているのがシバタイプなのか、チガヤタイプなのかという、そういう厳密ではなくとも大体が把握できる調査ですので、年に2回、春と秋にやる必要があります。これは図に示していますように、概要図は管内全川が見えて、その元となっている詳細図は個別に色分けで

● スライド24

(3) 低草丈草種の導入による対策

・草丈の低い草種で堤防法面を被覆することにより、草丈の高い草種等が侵入しにくい環境を創出する対策

種名	イフダレソウ	TND (25株/㎡)	デュフレア (25株/㎡)	ザンシス (25株/㎡)
写真				
特徴	・草丈が低い ・葉の厚みによって繁殖力が高い ・根が深く伸びる	・草丈が低い ・葉の厚みによって繁殖力が高い ・根が深く伸びる	・草丈が低い ・葉の厚みによって繁殖力が高い ・根が深く伸びる	・草丈が低い ・葉の厚みによって繁殖力が高い ・根が深く伸びる

【期待される効果】

- 年間を通じて草丈20cm程度以下であり、堤体の状態を把握しやすい草丈が維持
- チガヤタイプと同程度の根張強度があり、堤体の耐侵食性が確保
- 低草丈で密生状態を維持できるため、当該の堤防が崩壊し、護岸コストが削減

23

示しているということです。そういう中で、先ほど言った割合などが分かれば、その後の対策も立てやすくなりますし、それが河川管理者の立場であれば予算要求等にも有効な資料となるものです。

以上で我々からの話を終わりたいと思います。ご清聴ありがとうございました。

＜質疑応答＞

質問者1 スライド19の部分なのですが、いろいろな調整剤によってコスト削減が図れるということなのですが、実際に単価に占めるコストの割合として、散布の手間のようなものが多いんじゃないかと思いますが、そういうものの機械化、ロボット等を使ったコスト削減みたいなこともあわせて何かご検討されているのでしょうか。

山田 平成2年までは、実際に河川堤防で、当時は「除草剤」とともに言っていたと思いますが、散布をやっているんですね。その時の過去の歩掛というのがありました。ただ、最近はやはり農薬の飛散

● スライド25

(4) その他：堤防植生に適した植生基盤土質を導入する対策の研究

目的：堤防の維持管理に支障が生じにくい植生に適した植生基盤土質への誘導の可能性について検討

①粒度組成
シバタイプは粘質土が多く、外来牧草タイプは粘性土が多い傾向
⇒堤体材料の選定

②全窒素(N)
施工後間もないシバタイプ堤防等が低い傾向
⇒初期時の肥料調整

③pH
外来牧草等はややアルカリ性であり、在来植物はやや酸性の傾向
⇒pH調整

24

● スライド26

6. 対策(案)の検討にあたっての確認・把握事項

対策(案)の検討にあたっては、「堤防植生タイプ区分調査」を実施して、当該河川管内の堤防植生の現況を把握する必要があります

・堤防植生タイプ区分調査は、管内全域が一目でわかる「概要図」、詳細がわかる「詳細図」に分けて作成し、各堤防植生タイプの全体、川表・川裏、本川・支川別などの割合や所見を把握することができる。

・また、調査結果は堤防植生の現況を表すものであり、予算要求等でも有効な資料となる。

以上 25

防止というものが、各都県も上の方から指導を受けています。そういうところで、この実験をやるにしても飛散防止というのはひとつの大きなポイントになっています。実際の河川堤防を使った具体的な散布方法の実験にはこれから入るんですが、現在の単価比較の中では、従来の歩掛プラス、そういう飛散防止の若干の手間も見込んだもので検討しています。

質問者1 はい、分かりました。どうもありがとうございます。

質問者2 スライド8のコーン貫入抵抗について、私もカラシナが生えているところは堤防がフカフカしていて大丈夫かなと思った記憶があるんですが、チガヤは非常に幅を持っていて、要はフカフカしているようなチガヤタイプと固いチガヤタイプとがあるという感じがします。試験結果でも、7-1はカラシナタイプと同じぐらい土がフカフカしている感じなので、そうするとチガヤタイプに将来は移行していくにしても、その管理の仕方というのがけっこう重要になってくるんじゃないかなと思います。チガヤタイプというのは管理の仕方によってかなり変わってくるんじゃないかという印象があるんですが、そのあたりは何か研究されていますか。

山田 このコーン貫入試験も、一応堤防植生タイプごとに代表地点を2地点ほど選んで実はやっておりまして、本当にこれがチガヤタイプを代表しているかどうかというのは若干疑問があります。ただ、本当はこれは別の観点で、堤防の表面の締固め度合いというのは、別な意味でもきちんとしていなければいけないんですよ。ただ、一番言えることは、カラシナ型のところはかなり低いというのは明らかですが、ご質問の通り、チガヤはこの値だからどうかということにはなかなか言えません。いずれにしてもチガヤタイプであってもそんなにフカフカである必要はありませんから、別な意味での堤防管理としてはチガヤタイプのところでも、例えばバックホウの法面バケットでちょっと抑えるとか、そういう行為が私は必要だと思います。

質問者3 私どもが管理している河川において、東日本大震災以前は集草も行って、それを一般の方々への提供で賄ってきたんですが、放射線の関係でどうしても集草したものは焼却が必要だということになって、処分場のキャパシティの関係で全量の除草ができなくなり、今は震災後4年間は全く除草ができていない区間とかもあつたりするんですね。そういうところは裸地化もすごく進行してきていて、やはり除草の重要性というのを非常に感じているところなんです。

そういった裸地化したところの対策というのが非常に課題になっていまして、本来は剥ぎ取りをしてシバの張り替えが必要だと思っっているんですが、剥ぎ取ったものに関してはセシウム濃度が高いので別な対策が必要になってくるといいうところもあって、そういった表土の剥ぎ取りをしないような対策の仕方というの而今検討しているところです。

それで基本的に今回の研究というのは、有効な環境を維持していきましようということではあると思いますが、そういう我々が管理している河川であるとか、あるいは補助河川においては危機的な状況にある堤防もあると思いますので、そういうところに対する対策というの、例えば我々が管理している河川をフィールドにして調査研究をするとか、いろいろなことを考えていただきたいなと思っっているんですが、いかがでしょうか。

山田 はい、今おっしゃったように震災の放射能の影響で除草できなくなって、結果的に裸地化したというのは、想像しますとやはり広葉タイプの、完全に地面に光が届かないもの、例えばイタドリであったり、そういうタイプだと裸地になってしまうと思っいます。そうすると、ある意味で堤防点検評価の観点でも機能を失っているものになりますよね。であれば、やはり堤防としての機能を回復する対策を考えるべきだと思っんです。そこに特に何もしなくても勝手に草が生えるという、そういうおいしい話があるかというのちょっと疑問なんですね。

例えばイタドリで裸地化が進行し始めた時に、完

全にまだ堤防機能を失っていない、いわゆる4段階評価のBランクなりCランク的な話であれば、イタドリの場合だと除草回数をもう1～2回増やすことで、2年ぐらい続ければイタドリは消滅する、ということも、ある河川事務所ではやっています。しかし、もう完全に機能を失った場合には、別な方法で機能回復対策をするしかないと思います。

あとは財団としては、どちらかと言うとハード対策と言うよりは、そういうCランク的なものであれば何らかで研究はしていきたいと思います。

質問者3 すみません、根本的な対策は当然必要なんですけど、やれるものとやれないものがあるって、先程言ったように表土剥ぎをしてしまうとそれが別な処理が必要になってくる、それで受入先がない、というところもあるので、表土を剥がないで例えばイタドリなりの根が残ったままで表層に対策をしようとした際に、ここで話があるような調整剤等を使ってやっていくほうがいいのか、それともやはり汚染土処理が必要であってもきっちり表土剥ぎをして



やっていくべきなのかとか、いろいろなやり方があると思いますが、そういうところも我々内部でそこは考えて検討しなければいけないのかもしれませんが、河川財団が堤防植生について専門的にやっているのであれば、そういうところもある程度のご指導をいただければと考えています。

山田 はい、分かりました。何らかでお手伝いができればと思います。

第2部 堤防の浸潤・浸透に対するモニタリング

(一社)リバーテクノ研究会 地盤ワーキンググループ 幹事
阿部 知之

阿部 ただいまご紹介いただきましたリバーテクノ研究会の阿部でございます。どうぞよろしくお願い致します。

本日はこのような機会を与えていただきまして、ありがとうございます。まず簡単にリバーテクノ研究会の紹介からさせていただきたいと思ひます。(スライド1)

リバーテクノ研究会は2009年に設立されまして、主に河川の防災に関する技術の開発とその普及ということを目的に設立された機関でございます。現在は会長の中川博次先生をはじめとしまして、こちらにお示しをしております技術顧問の先生方、都丸理事長、三木技術開発委員長という方々から常日頃いろいろご指導やご助言をいただいております。

技術開発の方は技術開発委員会が中心になって進めております。その中に減災WG、地盤WG、材料WGという3つのワーキングを設けて活動しております。それぞれのワーキングは、こちらの各社から構成されております。(スライド2)

それでは本題に移らせていただきます。(スライド3)



現在、河川におきましては洪水被害の防止や軽減に向けて戦略的な維持管理のあり方が課題になっているかと思ひます。そのような状況の下、現在、河川財団とリバーテクノ研究会は共同で、河川堤防の維持管理技術に関する研究に取り組んでおります。ここではその第一段階としまして、堤防の内部状態を把握するためのモニタリング技術について、その適用性を検証するために計画しております現地試験の概要についてご紹介したいと思います。

まず最初に、河川堤防のモニタリングに対する現状認識ということですが、現状では堤防の点検は形状・表面状況についての変状を対象としており、内部状態の把握は行われていないという状況だと思ひ

● スライド1

一般社団法人リバーテクノ研究会の概要

設立の目的：各岸との知覚連携を図り、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な暮らし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
特別法務顧問	宇野 尚雄	京都大学名誉教授
	辻上 正城	京都大学名誉教授
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	都丸 徳治	(株)日本橋洋行 代表取締役
技術開発委員長	三木 博史	三木工業株式会社 取締役 代表取締役
法人正会員	21社	
個人正会員	9名	

● スライド2

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)
日本工業(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ト(株)		東洋紡(株)
八千代エンジニアリング(株)		三井化学金貨(株)
		三菱樹脂インフラテック(株)
		ユニテカ(株)

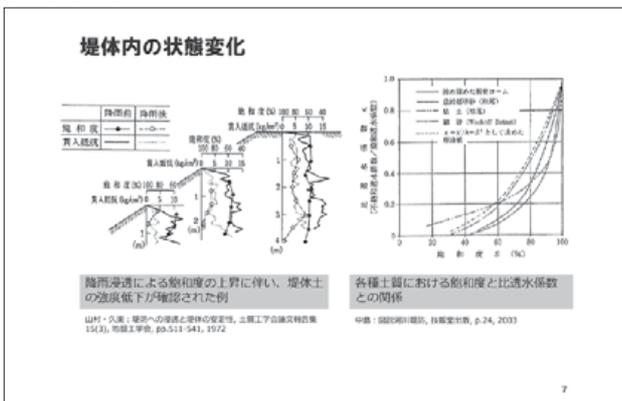
(五十音順)

てまた飽和度分布が変化するという状況になります。

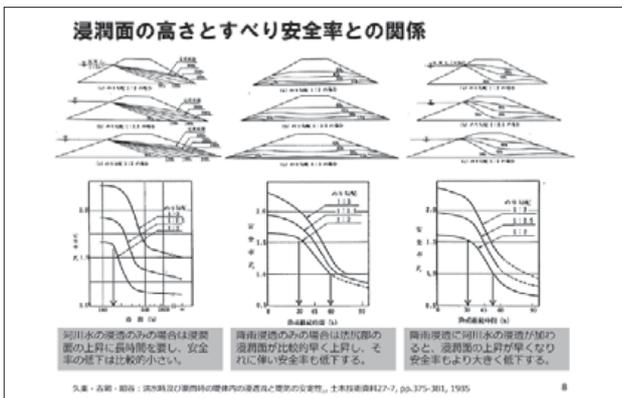
それから堤体の中の状態も、そういった水分状態等によって変化するということが昔から知られております。(スライド6) 左側の図であれば、飽和度の上昇に伴い、堤体土の強度低下が確認されています。右の図は、飽和度と透水性の関係を表しておりますが、いずれの土質についても飽和度が上昇するほど透水性が高くなる性質を示すことが知られております。

こちらの図は河川堤防の標準的な断面モデルに対して、水位上昇と降雨、それから両者が加わった場合等の条件で浸透流計算を行って、堤体の法勾配と強度上昇に着目して安定計算を行った結果を示しております。(スライド7) 左側の図が、河川水の浸透のみの場合で、浸潤面がこのように上昇して、それに応じて安全率が低下するという状況を表しております。中央の図は同じく降雨だけの場合で、降雨継続時間と安全率の関係を表したものです。右側の

● スライド6



● スライド7



図が両者が合わさったもので、それによってやはり降雨浸透に河川水の浸透が加わると浸潤面の上昇が早くなって、安全率もより大きく低下することが示されております。

こちらには河川水が上昇した時に法尻に圧力が加わって盤ぶくれするといった時の破壊のイメージを示しております。(スライド8)

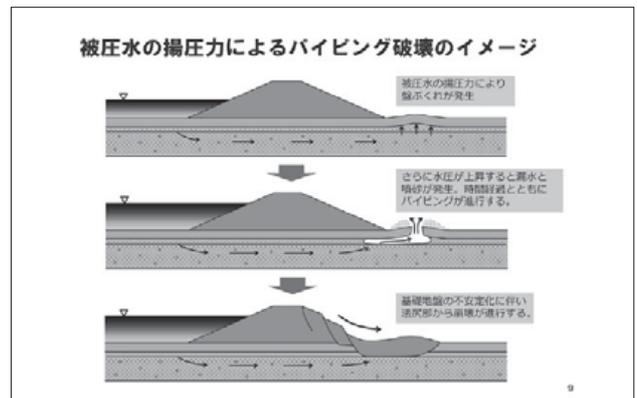
河川水位が上昇すると法尻部で揚圧力が発生して、盤ぶくれが発生します。その後さらに水位が上昇すると、この部分で漏水や噴砂が発生し、さらに時間が経過すると、このように基礎地盤の中でパイピングが進行していくことになります。

さらにその後、基礎地盤がこの部分で不安定化し、法尻から崩壊が進行するといった状況が考えられています。このようなことを念頭に置いて、何をモニタリングしていくのがよいかを今後考えていかないといけないと思っています。

先ほど申し上げたように、堤防内部の状態というのは時々刻々と変化してまいります。これらの状態の変化を何らかの方法で監視できれば、変状発生の予兆を早期に検知し、それを被害の軽減につなげることが可能になるのではないかと考えます。そのため、まず堤体内部の状態についてどういうモニタリングが考えられるかという例をお示しします。(スライド9)

堤体の中の水分量とか、浸潤面、これは「水位」という言い方もできるかと思いますが、それと堤体土の強度とか密度、これらの変化をとらえることは

● スライド8





重要かと思えます。それから堤体の変形挙動についても、もしモニタリングができれば有効と考えます。それらによってすべり破壊の予兆を監視できたり、変状発生による緩みの状況を把握できるようになるのではないかと考えます。

一方では川裏法尻付近、こちらについては法尻部の動水勾配や被圧水の揚圧力、「水頭」という言い方もできるかと思えますが、その他にも地盤の変位量や浮き上がり量、盤ぶくれの量もモニタリングの対象にはなるのではないかと考えています。それらを測ることで漏水やパイピングの予兆を監視でき、漏水後の水圧変化等も監視できるようになるのではないかと考えております。

ここからは現在進めておりますモニタリング技術に関する現地試験計画の概要についてご紹介させていただきます。(スライド10)

モニタリングではやはり重点的に監視する箇所を選定が最も重要になると考えております。そこで今回の現地試験では、出水時に変状発生の可能性が最

も高い箇所を重点監視区間として、そのような箇所を絞り込むための手法についても試行することにしております。

重点区間の絞り込みには、堤内地の微地形や被災履歴、対策実施状況、詳細点検結果、またそれ以外に、縦断方向の土質に関する情報が必要になると思えます。土質分布につきましては、必ずしもボーリング情報が豊富にあるわけではありませんので、十分に把握できない場合が多いと思えます。情報として知りたいのは、相対的に浸透が生じやすい箇所であったり、緩みが大きな箇所かと思えます。そのためボーリング情報を補完するという目的で、物理探査から得られる縦断方向の土質情報、中でも特に浸透の生じやすさや緩みの有無に関する情報を利用してはどうかと考えています。

重点監視区間の絞り込みまでの流れをこちらに示しております。(スライド11)

まずはモニタリング対象地区を選定しまして、それに対して既存資料の収集・整理を行い、治水地形図や地盤標高、ボーリングデータ等を整理することと、併せて現地踏査と物理探査をこの段階で実施することを考えています。物理探査としては牽引式電気探査と表面波探査、それを堤防縦断方向に天端と裏法尻の2測線で実施することが有効と考えています。

牽引式電気探査から得られる比抵抗断面は縦断方向の土質分布、それから浸透の生じやすさの評価に利用できると思っています。表面波探査から得られ

● スライド9

モニタリングの意義と対象項目の例

- 変状が発生するまでに、堤防内部の状態は時々刻々と変化する。
- これらの状態変化を何らかの方法で監視できれば、変状発生の予兆を早期に検知し被害の軽減につなげることが可能と考えられる。

堤体内部の状態	川裏法尻付近の地盤の状態
<ul style="list-style-type: none"> □ 水分量 (飽和度) □ 濃稠面 (水位) □ 堤体土の強度または密度 □ 堤体の変形挙動 etc. 	<ul style="list-style-type: none"> □ 法尻部の動水勾配 □ 被圧水の揚圧力 (水頭) □ 地盤の変位量 (盤ぶくれ) etc.

↓

すべり破壊の予兆を監視
変状発生による緩み状況を把握

↓

漏水・パイピングの予兆を監視
漏水後の水圧変化を監視

10

● スライド10

モニタリング技術に関する現地試験計画の概要

(1) 重点監視区間の選定

- 変状発生の可能性が最も高い箇所を重点監視区間とする。
- 重点監視区間の絞り込みには、堤内地の微地形、被災履歴、対策実施状況、詳細点検結果以外に、縦断方向の土質分布に関する情報が必要。
- 土質分布については、ボーリング情報のみでは十分に把握できない場合が多い。情報として知りたいのは、相対的に浸透が生じやすい箇所、緩みが大きい箇所。
- そのため、ボーリング情報を補完するために、物理探査から得られる縦断方向の土質情報、特に浸透の生じやすさや緩みの有無に関する情報を利用。

11

るS波速度断面は、縦断方向の地盤の密度分布の把握、それから出水時に変状が発生した時の緩みの発生状況を後から追跡調査をするような場合にも利用できると思っています。

イメージ的には最初に延長1km~2kmぐらいの対象地区を選定して、絞り込みを行って100m~200mぐらいの範囲に絞り込んでいくというイメージを持っています。そこから観測機器を設置する断面を選ぶという流れです。

ここで、漏水発生箇所です実際に牽引式電気探査を適用した事例がありますので紹介させていただきます。(スライド12)

こちらの平面図で赤丸で示してある点が実際に漏水が発生した地点でございまして、この部分ではかなり大きな噴砂が発生しております。そこで、堤外側と堤防天端、それから堤内側の3測線で電気探査を行って見た結果です。

図は比抵抗分布の断面を示していますが、赤色系になるほど比抵抗が大きく、青色ほど比抵抗が小さいことを表しております。天端の測線から見ていただきますと、噴砂が多く発生した箇所は、比抵抗が連続的に大きな値を示しているということと、大規模噴砂を起こした箇所については、特に比抵抗の大きな箇所が堤防を横断するように連続しているということが確認されています。おそらくこのような高比抵抗部は、浸透が生じやすい箇所に相当している可能性が高いのではないかと考えております。

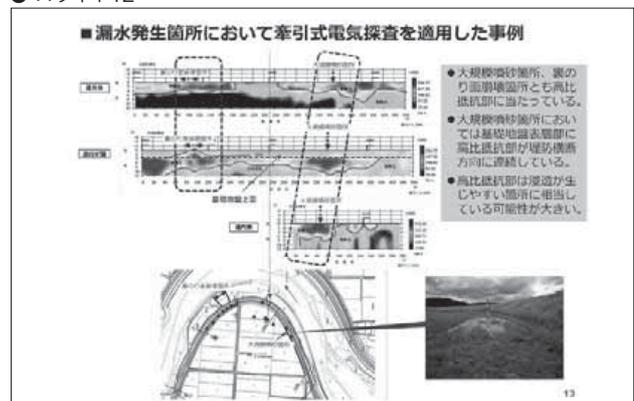
それからこちらは比抵抗の経時的な変化を使って

絞り込みを行って見た例です。(スライド13) この例では堤防天端で縦断方向に探査を行っております。区間延長が約1kmで、堤防高が約5mのところ です。上の図は雨が少ない時期の比抵抗分布を表しています。その後、雨が深い時期の比抵抗をもう一度同じ測線で測定しますと中央の比抵抗断面が得られました。見た目はそれほど変わらないんですが、このあたりの抵抗値が少し小さくなっているということが見て取れます。

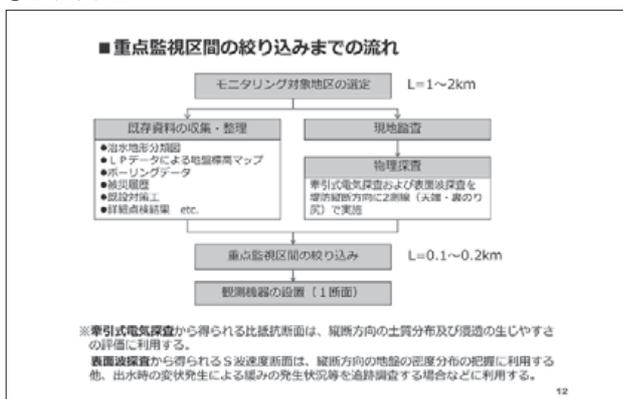
この差分を取ったのがこちらの図面になります。ここでは多雨期の比抵抗から少雨期の比抵抗を引いて、その差を変化率で表しています。そうすると、変化率が大きいのがこの青色で示したゾーンになります。こういうところに変化率が大きいところが現れてきました。この区間では過去の出水で漏水が確認されておりまして、たまたまかもしれませんが、比抵抗の変化率が大きい区間と漏れが発生した区間がほぼ一致することが分かりました。

それから、重点監視区間でどのようなモニタリン

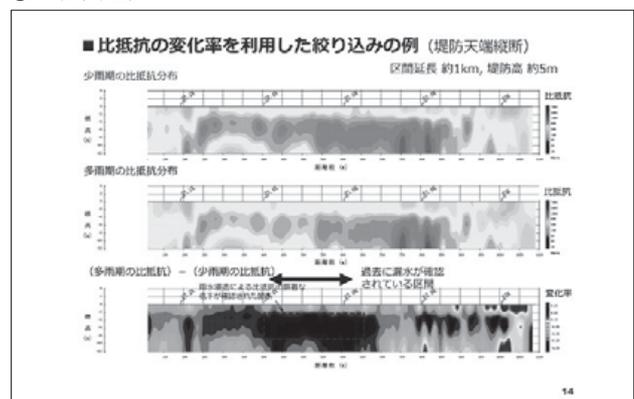
● スライド12



● スライド11



● スライド13



グを行うかということですが、現在考えている計画では、予算の制約等もありますので比較的实现性が高い項目や技術に絞りまして、数量的にも最小限のもので考えています。今後は可能な範囲でさらに追加していければいいと思っております。

今考えておりますのは、まず堤体内水位を測定しようということで、天端と裏法の中央部分の2カ所に水位観測井を設けるということと、それから観測井ですと断面だけの情報になりますので、それを補うと言いますか、縦断方向にも少し拡張してみようということで、比抵抗を使ったモニタリングも計画しております。(スライド14) こちらの図面でいきますと、このように法面に沿って縦断方向に比抵抗の測線を設けるようなイメージです。測線長は100mか200m位を考えています。

それから現在計画中のところでは、被覆土層が2m弱位の厚さで分布することが想定されておりました、被圧水が重要なモニタリング項目だろうということで、法尻に簡易リリーフウェルというものを設置しまして、そこで水圧の観測を行うことを考えております。そのほか出水時には現地状況を確認しまして、変状等が確認された場合にはこれらのモニタリング結果について詳細な分析を行う計画です。

以上の技術について、簡単に概要をご紹介しますと思います。

「打ち込み式水位観測井」というものがありまして、これは平成17年度から19年度に土木研究所、国土技術研究センター、それから民間8社で実施した

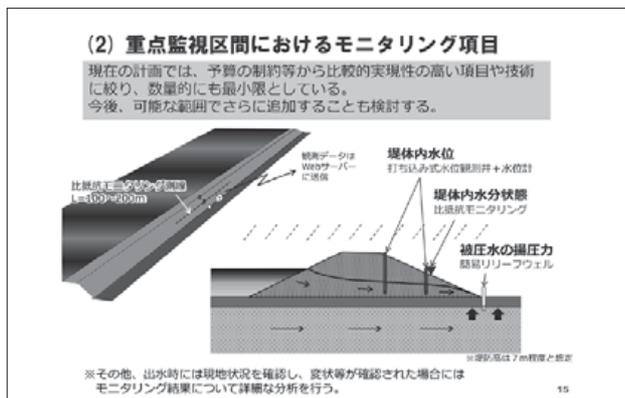
共同研究で開発されました。(スライド15) 現在、土木研究所が推奨する重点普及技術の1つになっております。特徴としましては、ボーリングによる削孔を必要とせず、簡易な打撃装置を使用して簡単かつ短時間で設置できるということです。こちらが外観を表しております、打ち込み貫入時にはこのような状態なんです、ある深度まで行ったところで、内側からコーンとこの有孔部の付いた部分を押し出し、この部分で水を出入りさせるという構造です。有孔部は親水性のフィルターが付いており、長さは20cm程度です。材料はステンレス製になっています。

設置方法については、これは「オートマチックラムサウンド」と言われている機械ですが、これを現地に設置し、地表からこの機械を使ってパイプを打ち込みます。(スライド16) 所定の深度まで行きましたら、パイプの中に専用のロッドを挿入し、そのロッドを打ち込むことでこの先端部分を突出させるというやり方になっています。

この打ち込み式水位観測井を使って、土木研究所の施設の中で湛水試験を行ったデータがありますのでご紹介いたします。(スライド17) これは模擬堤防に湛水させた時の堤防の中の水位の断面をあらわしております。この△の赤印が打ち込み式水位観測井のデータ、それに検証用として設置しましたマンメータのデータが○印ですが、ほぼ両者が一致することが確認されております。

この湛水試験における水位の経時変化を追っていきますと、この○印が検証用のマンメータですが、

● スライド14



● スライド15



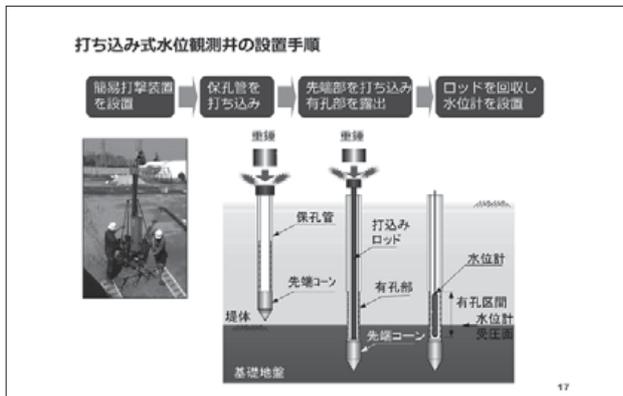
赤い線で表示している打ち込み式水位観測井と比べてほとんど同様の経過をたどることが確認できております。

続いて、先程少し触れた比抵抗モニタリングについてご紹介します。(スライド18) こちらは通常使われている電気探査を連続的に繰り返し行って、その地盤の比抵抗の経時変化をモニタリングする手法です。間接的ではありますが、測線下方の断面内における水分量分布を動的な挙動として可視化できるということが最大の特徴かと思えます。完全に自動化して、所定の間隔で測定したデータを携帯電話回線等を用いてサーバーに送信して、ウェブ上で閲覧するというようなことも今は可能になっております。

これはあるところで比抵抗モニタリングを実施した例です。(スライド19) ここでは堤防天端のすぐ横の法肩に測線を配置し、電極を設置してこういった観測施設を設けてデータ通信と回収、分析を行っているという状況です。

ここでは電極間隔が1m、45分間隔で測定しております。堤防高は約5mの場所です。今から動画をお見せしたいと思います。約1週間分のデータを高速で再生して、約75秒ぐらいに縮めております。(スライド20) 途中で降雨がありまして、その降雨が入っていく様子が見えますが、その時の降雨はあまり多くはなくて、3時間で約20mm程度の雨でした。まだそれほど大きな降雨は経験していないので、今後また観測を続けて分析したいと思います。

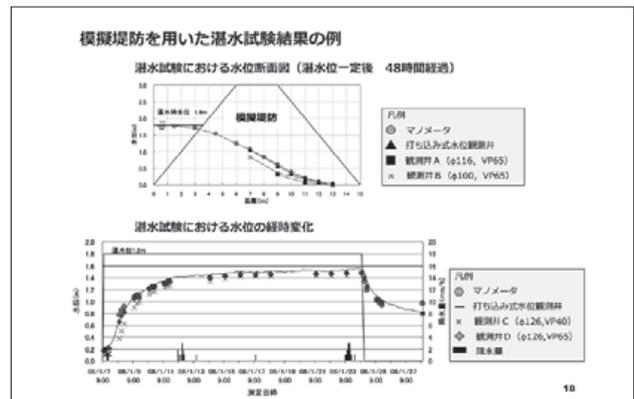
● スライド16



動画では、時々青い部分が出ますが、これは比抵抗が大きく低下したところになります。雨が降りますと、表面から雨が入って行って、下の方向に浸透して少しずつ、比抵抗の変化率が変化します。このように縦断方向で、どこから雨水が入ってきやすいか、それがどの程度の早さで入っていくのかなどがこれでおおよそ見当がつきます。それから雨以外でも、例えば河川水が上昇して下から水圧が上昇してきた時に、逆に下の方から堤体の中に浸透していく様子も捉えられるのではないかと考えております。

それから簡易リリーフウェルについてご説明します。(スライド21) 現在、リバーテクノ研究会で開発を進めておまして、プレボーリングタイプと打ち込みタイプを作っております。打ち込みタイプは非常に短時間で設置できますので、水防工法のような応急的な使い方に適していると思っています。例えば基盤漏水があったような場所ではよく月の輪を作ったり、釜段を作ったりしますが、その中にリリー

● スライド17



● スライド18

■ 比抵抗モニタリングについて

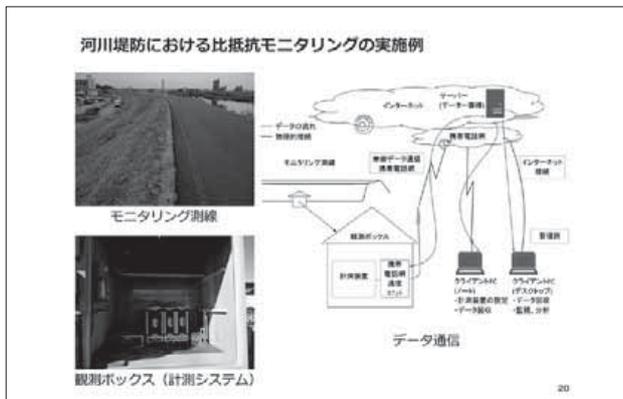
- 電気探査を連続的に繰り返し行い、地盤の比抵抗の経時変化をモニタリングする手法。
- 間接的ではあるが、測線下方の断面内における水分量分布の動的な挙動を可視化できることが最大の特長。
- 所定の区間で測定したデータを携帯電話回線を用いてWebサーバーに送信し、Web上で閲覧することも可能。

フウェルを設置して、土を動かさずに水だけを安全に抜くことによって地盤の不安定化を防げないかということを考えております。

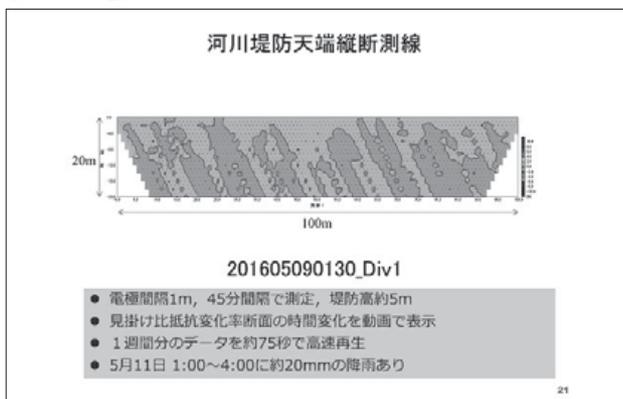
左側の図が打ち込みタイプの構造を示しています。(スライド22) パイプの直径は5cm位で、材料はプラスチック製です。標準的な長さを2mにして製作しています。被覆土層の厚さが1.5m以下の場合には、適用性があるのではないかと考えております。先端にコーンが付いたパイプを打ち込んでいきますが、打ち込みの時には鋼管を使って打ち込んで、打ち込みが終わったら鋼管を引き抜きます。そのあと地表部にはそこから漏水や噴砂が起これないように、きちんとバッカーを使ってそこを止水する構造になっています。

右側の図がプレボーリングタイプで、これは通常のボーリングを行って、そこにパイプを挿入設置するような形になっています。これについてもバッカーの構造などを工夫しているところがございます。

● スライド19



● スライド20



以上が現在計画している現地実験の概要ですが、今ちょうど着手したばかりで、観測機器の設置や観測はこれからというような状況です。結果が出ましたら、またこういう機会に発表させていただければと思っております。

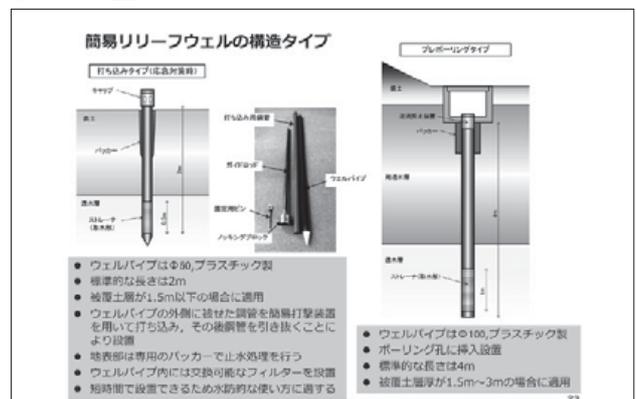
最後に、今後の課題として考えられることを整理しておりますのでご紹介します。(スライド23) 今後の展開を考えていきますと、まずモニタリング計画の立て方を整理する必要があると思っております。これにつきましては観測項目の選定や配置、密度、それらの考え方、モニタリング方法の選定の考え方などが主に検討対象になると思っております。モニタリング方法につきましては、今後は新技術の導入や活用等も念頭に置いて検討する必要があると考えております。

それからモニタリング結果をどう活用していくか、それも重要な課題になると思っております。観測結果を元にした予測ということも考えられますが、外力のパターンに応じた応答特性のようなもの

● スライド21



● スライド22



を把握しておくことも重要かと思ひますし、危機管理のための指標、それから判断基準の考え方なども今後は整理しておく必要があると考えております。

このようなモニタリングに継続的に取り組み、事例を蓄積していくための方策についても今後検討していければと考えております。

以上で私の発表を終わらせていただきます。ご清聴ありがとうございました。

<質疑応答>

質問者1 スライド11ですが、重点監視区間の選定が非常に大切だというお話がご発表の中であったと思います。そこで、どうやって絞り込むかについてはスライド11のフローの中に書いてあるとおりでと認識しております。それを見ると、まず既存資料を用いて、大体このあたりかな、というのを絞り込まれた上で物理探査をされて、やはりそこがよかったと。だから重点監視区間に絞って、そこを重点的に調査するんだというような考え方でやられていると思います。

それで仮に物理探査の結果が当初、書類とか予想したところと同じような場合には、そこを断面として選定すればいいと思いますが、仮に違った場合にどのような考え方をしていけばいいのかとか、もしご知見等があればお願いします。

阿部 ボーリングが実際に行われているところで、その間をどうつないでいくかというときに物理探査を使うことを考えていますが、やはり当初想定した

場所にそれほど透水性のいいところがないといった場合も出てくるかと思ひます。そこはやむを得ないことでもあり、探査結果を見ながら別のところを選び直すといったことも必要と思ひております。

そのときに物理探査の情報だけでなく、やはり堤内地の地盤高等も重要な指標になりますので、そういうものと併せて最終的な判断をすべきだろうと思ひております。

質問者2 非常に興味深いご発表だったんですが、スライド12の漏水発生箇所における牽引式電気探査を使用した事例で、先程例えば大規模噴砂とか、あるいは裏法面の崩壊箇所については高比抵抗部に当たっているという話だったんですが、こういう比抵抗値の図面の読み方として単純に高比抵抗ということ、絶対値と言うか、それを重視するのか、あるいは、砂質土と粘性土の違い、あるいは砂質土が薄いか、厚いかとか、むしろ断面の中での相対的な比抵抗の違いとか、そっちに着目した方がいいのか。

あるいは同じ粘性土でも、堤内側と書いてある図面だと、左の方は仮に同じだとすると非常に抵抗値が低いと。それで右の方は比較的抵抗値が高いわけですね。そうすると、飽和度は右側の方が飽和度が低くて、左側の方はかなり飽和度が高くなっているのかなと。上の図面ですが。そうすると粘性土ですから、恐らく右側の方が透水性が高くて、左側の方が粘性土の飽和度が高くて透水性が高くなっているのかなという気がするんですが、何かそういう相対的な全体での読み方をするのがいいのか、読み方のご知見があれば教えていただきたいなと思ひます。

阿部 ありがとうございます。現状では比抵抗は絶対値として判断するところまではなかなか行かなくて、相対的にどこが比抵抗が大きいのか、小さいかということで判断せざるを得ない状況です。

ご質問中にありましたように、単に比抵抗値だけでは分からない要因がありまして、比抵抗が高い部分の厚さとか、それが浅いところに出ているのか深いところに出ているのか、その辺もやはり被災との関係で言えば重要になってくるかと思ひます。今は

● スライド23

今後の課題

- モニタリング計画の立て方
 - 観測項目の選定・配置・密度
 - モニタリング方法（新技術の導入・活用を含む） etc.
- モニタリング結果の活用方法
 - 外力に応じた応答特性の把握
 - 危機管理のための指標・判断基準 etc.
- 継続的な取り組みと事例の蓄積

まだ被災箇所での探査結果を集めている途中です。そういうものが集まってくれば何らかの関係性のようなものが整理できてくるのではないかと考えております。今後、探査結果の解釈の仕方、被災と

の関係に基づく評価の仕方とか、その辺もこれから事例を蓄積して知見を高めていければと考えております。

(了)

平成28年度
第2回 河川研究セミナー

破堤氾濫被害の軽減に向けた技術開発
ー水理実験によるアプローチー

船木淳悟 氏 (国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所
寒地水圏研究グループ グループ長)

開催日：平成28年7月20日 (水)

場 所：AP秋葉原

破堤氾濫被害の軽減に向けた技術開発

—水理実験によるアプローチ—

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所

寒地水圏研究グループ グループ長 船木 淳悟氏

船木 寒地土木研究所の船木と申します。「堤防」が今年の河川財団さんの河川研究セミナーのお題ということですので、今日の講演のタイトルも「破堤氾濫被害の軽減に向けた技術開発」となっています。「なんで札幌にある寒地土木研究所がこういうことをやっているのかな」と思われる方もいらっしゃるかと思いますが、まず、そもそも寒地土木研究所というのはなんぞや、というところからちょっとだけPRをさせていただきます。

寒地土木研究所は、もともと北海道開発庁 北海道開発局の試験研究機関でしたが、省庁統合に伴って国交省の中に入り、平成18年につくばの土木研究所と一緒に現在に至っています。基本的には積雪寒冷地域の技術の研究開発が目的の機関ですが、必ずしも寒冷地に特化した技術に限らず、全国的に必要な技術、あるいはタイムリーなテーマについても取り扱っています。

それで「破堤」ということについてですが、当研究所では非常に大きな実験研究施設を持っている北海道開発局と協定を結んでおりまして、その実験施設を使わせていただけるという非常に恵まれた環境にあるものですから、ではそれを使ってなかなかできないようなスケールの大きな実験研究を行政と一緒にやっていこう、ということで、10年近く前から取り組んできたプロジェクトがありますので、今日はそれをご紹介していきたいと思います。

基本的には水理実験を主体にしております。ただ、あまり理論的な解析というような中身ではありません。ビデオをふんだんに用意してきておりますので、ビデオを適宜見ていただきながらお話を進めていきたいと思っております。



今日ご説明する内容です。(スライド1) まず1番として破堤研究の背景に触れていきたいと思えます。それから2番で、この破堤研究のメインの実験フィールドである「千代田実験水路」の概要をご説明します。それから3番として破堤実験のこれまでの流れを一通りご説明した後に、4、5、6と順を追って、まず4番で破堤の機構の解明についての実験、それから5番で破堤が広がっていくのをどうやって抑制するかという実験。その次の6番が、それを止めていって最後は閉じるという、そのための技術を開発する実験、という順番でご説明していきたいと思えます。

● スライド1

ご説明内容



1. 破堤研究の背景
2. 千代田実験水路の概要
3. 破堤実験研究のこれまでの流れ
4. 越水破堤機構の解明実験(H20~23)
5. 破堤拡幅抑制実験(H25~26)
6. 荒締切(せめ工)実験(H27~)

2

これは皆さんもよく見る資料なので、改めてご説明することはないところですが、近年の雨の降り方の特徴ということで2つほど挙げております。(スライド2) 1つ目として、やはり50mm/hを超えるような非常に強い雨がが増えてきているということ。これは短期間に集中して降る雨ですから、特に中小河川では雨に対する流出の応答が非常に速いということで、急激な水位の上昇によって氾濫する危険性がある。たくさん降らないけど、一気に降るということで、溢れるという危険性が高まっているということです。

2つ目として、基本高水を超えるような洪水の発生頻度が、大きく見積もると5倍近くにもなるということが予想されています。これは計画高水位を超える出水の頻度が高まることで、河道の流下能力を超える流量の発生によって堤防が氾濫して災害に至る危険性が高まっているという状況です。

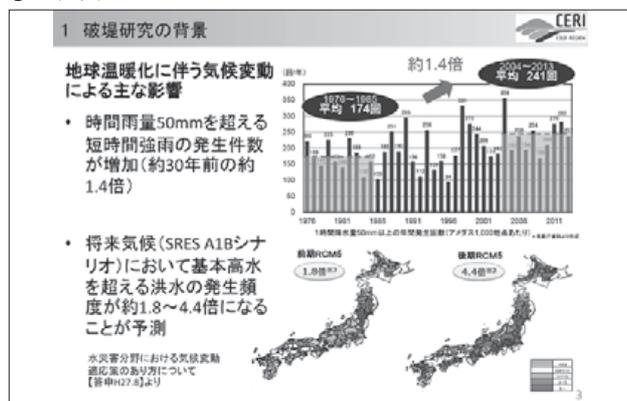
大きくは昨年9月の鬼怒川の洪水が、まさにそのような非常に厳しい気象降雨環境の中で発生したわ

けですが、災害直後、私どもも現地に行って調査をしてみました。幾つかの写真をお見せします。(スライド3) 破堤の2日後の土曜日に現地に行き、まだ復旧工事もほとんど始まっていないような状況の中で、破堤の状況等を見てきました。200mにわたって堤防が完全になくなっておりまして、堤防があった基盤のところは、深さが2m以上あるような深い落ち掘れが形成されていました。堤防は本当にスパッと切られるようになっていたという状況です。

近年の主な破堤の事例ですが、ここに20年間のものだけざっと挙げてこのくらいありました。(スライド4) 去年の鬼怒川の被害、それから2012年の矢部川、2004年の円山川など、これだけの破堤災害があります。ここには必ずしも越水だけでなく、漏水による災害も含まれていますが、いずれにしても堤防決壊で非常に甚大な災害が頻発しているという状況です。

こういう事態が頻発している中で、昨年平成27年度12月の答申でも、これだけ雨の降り方が変わってきている中で、洪水を川の中だけで安全に流すということにはやはり限界があるということで、氾濫が発生するということのある程度前提とした「水防災意識社会」というのを構築していかなければならない。それをしっかりと支えるためには危機管理型ハード対策が必要で、越水が発生したとき、決壊自体は防げなくても、その決壊までの時間を少しでも引き延ばせるようなそういう粘り強い河川堤防が必

● スライド2



● スライド3



● スライド4

1 破堤研究の背景

近年の主な破堤事例

年月	河川名
1995年7月	信濃川水系 鳥居川【長野県】
1998年8月	阿武隈川水系 阿武隈川・堀川【福島県】
2000年9月	庄内川水系 新川【愛知県】
2000年9月	矢作川水系 竜川・広田川【愛知県】
2004年7月	九頭竜川水系 足羽(あすわ)川【福井県】
2004年7月	信濃川水系 五十嵐(いからし)川・刈谷田川【新潟県】
2004年10月	円山川水系 円山川・出石(いずし)川【兵庫県】
2012年7月	矢部川水系 矢部川【福岡県】
2015年9月	利根川水系 鬼怒川【茨城県】
2015年9月	鳴瀬川水系 浪井川【宮城県】

要であるということが言われております。(スライド5)

それを受けて「水防災意識社会再構築ビジョン」ということで、下の絵に示しているようなことが具体的に打ち出されて、今後5年間である程度、堤防の粘り強い構造の整備をしていこうということになっています。具体的には堤防の天端、越水時に一番激しい掃流力にさらされて欠けていく箇所を保護するという。それから、溢れた水に対してはどうしても法尻部分が弱点となります。ここが洗掘されて堤防の浸食がどんどん進んでいきます。このように法肩と法尻を押さえるということによって堤防の決壊までの時間を少しでも遅くしようという発想です。

このように堤防が壊れるということに対しては、ある程度の対策等は打たれていて、効果が出てくるだろうということですが、では進行中の破堤への対応技術に関してはどうだろうと見た時に、やはり現状では、破堤自体が、先ほど多数発生していると言いましたが、全国規模で何年に1回というものですから、その河川を管理する技術者にとってはそうそう何回も経験することではないわけですので、緊急時のこういう締め切り工事というのは事例も経験も少なく、どちらかと言うと経験的な対応というようなものになっています。ということで、なかなか具体的、効果的な施工方法が確立されていない。マニュアル的にも確立されていないという状況です。(スライド6)

では、進行中の破堤への対応をしっかりと技術と

して確立するために必要なことは何か、ということですが、課題としては、やはり破堤の時の破堤部周辺の流れがどういうようになっているのか、洪水時に観測することも難しいということもあり、その水量に基づいた詳細な検討のためのデータがないということです。それから、現場での技術ということですが、これはどんどん締め切っていくほどに速くなる流れとの闘いになりますので、その速い流れに打ち勝つような施工方法とか、どういう状態の時にはどういう工法をやればいいのか、どういう判断をすればいいのかというものがないということです。

このような課題をしっかりと解決するためには、模型スケールの実験では最終的に現場でどのようにやるのかということまでは、きちんと解決することが難しいわけです。ということで、どうしても実物大スケールの実験というものが求められるということになります。

それで、千代田実験水路の概略でございます。(スライド7) 北海道十勝川の河口から大体30kmぐらい

● スライド5

1 破堤研究の背景

「洪水を河川内で安全に流す」施策だけで対応することの限界

洪水による氾濫が発生することを前提として社会全体でこれに備える「水防災意識社会」を再構築

危険管理型ハード対策=越水等が発生した場合でも決壊までの時間を少しでも引き延ばす粘り強い堤防構造の導入

堤防天端の保護
建設工機をアスファルト舗装で保護し、法面部の洗掘の発生を抑制することにより、決壊までの時間を少しでも延ばす

堤防法尻部の保護
法尻部は天端と比べて洗掘が激しく、決壊までの時間を少しでも延ばす

大規模災害に対する防災のための治水対策のあり方について【部研#07.12】より

(下部)水防災意識社会再構築ビジョン【07.12】より

● スライド6

1 破堤研究の背景

では、破堤した後の対応技術に関しては・・・

【現状】

- 破堤時の緊急的な締切工事は事例が少なく、締切工の効果的な施工方法は確立されていない

【課題】

- 災害時に破堤部周辺の流れを観測した事例は少なく実際に生じた水量に基づく詳細な検討が困難
- 最後の締切箇所である「せめ部」は、高流速や深掘れの原因により現場作業が困難であり作業手順などの確立が必要

● スライド7

2 千代田実験水路の概要

- 十勝川の河口から30km
- 治水施設として平成19年に完成した新水路の一部を背割堤で仕切って作られた実験水路

- 全長1,300m
- 水路幅30m
- 勾配は1/500
- 流量はゲートでコントロール

上流のところ、もう少し上流に行くともう帯広市街になるのですが、その河道の一部を使った新水路があります。この新水路は平成19年に完成したものです。これがもともとの十勝川の河道で、知っている方も多いと思いますが、このところに千代田堰堤という、かなり昔にできた堰堤があります。これは農業の取水施設としてと、あとは昔、改修した十勝川の河床低下を防ぐ床止としての機能を持った堰堤です。ここは遡上する鮭がジャンプする、観光施設としても非常に優良な施設です。それで、流下能力が足りないので確保したいが、この堰堤があるのでなかなかここに手をかけるのは難しいということになり、それならここがちょうど河道幅が広いので、こちら側に新水路を掘り、洪水時にはこちらに水を流すという治水計画を作ったわけです。それで、新水路を造る時に、「どうせならこの水路は、他ではなかなかできないような実物大の実験をやるようなものにしたらどうか」というアイデアがありまして、それで作ったのがこの千代田実験水路でございます。

新水路のゲートは4門ありますが、そのうちの1門を使って延長1,300mほどの背割堤でここに水路を分けました。それでこのゲートから水をコントロールすることで、この水路内でいろいろな実験をするというものです。勾配的には十勝川の上流30kmなものですから、勾配1/500とややきつめの水路になっています。

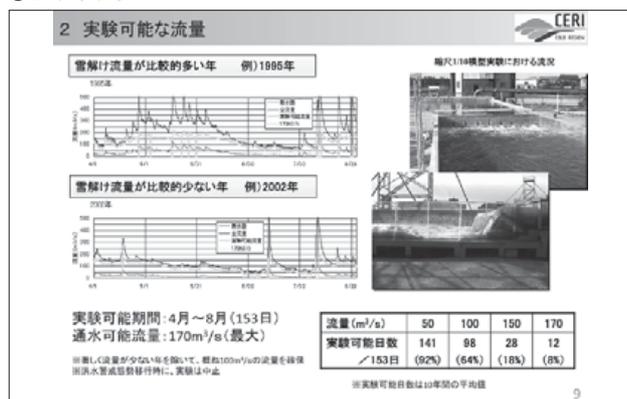
自然の流況を使った実験施設ですので、どうして

も年間の中で使える条件が限られてきます。(スライド8) 実験水路自体のフルに流すことができる能力としては170m³/sぐらいあるのですが、冬場は当然使えませんし、ここは鮭が上る河川なものですから、漁業者との関係もあって10月以降は水を流したり、実験することができません。実質4月から8月ぐらいまでしか実験できないということです。それでも153日ほどはあるのですが、夏場はどうしても流量が少なくなってきますので、安定した実験をするためには100m³/sぐらいの流量が確保できるコンディションで実験を企画しています。近年はちょっと流量が少なくて実験適期の6月、7月は60m³/s、70m³/s、そのぐらいの水を使った実験を行っているというのが現状でございます。

こうした現地スケールの破堤実験のメリットについてご説明します。(スライド9) 近年、河川工学分野では数値シミュレーションの解析技術が目覚ましく進んできています。河道計画とか、土砂のシミュレーション、流れのシミュレーション、そういう技術については非常に進んでいるのですが、堤防の侵食や破堤問題に関してはなかなか定量的な解析が進んでこなかったというのが実態でございます。これは先ほど言ったように、実スケールのデータが乏しいということや、水理実験ができなかったということが大きな理由です。

では、縮尺模型実験ではどうなのかと言うと、流れとかそういうようなものは縮小してできるのですが、土のいろいろな物性値は縮小できないものです

● スライド8



● スライド9

- 2 実スケールの破堤実験の必要性
- 河川工学全般の数値シミュレーション解析技術は進んだが、越水破堤問題に関しては定量的な解析はあまり進んでこなかった
 - これは、実スケールによる水理実験ができなかったことが、一つの大きな理由としてあげられる
 - 従来の縮尺水理模型実験では、流水の物理量が数十分の1程度に縮小されるのに対し、
 - 堤防の土の強度(粘着力、耐侵食力)は実スケールのままなので、実現象を再現することが難しかった
 - 今回、千代田実験水路を用いることにより、流水の物理量と土の強度の両方が実スケールの実験が初めてできるようになり、
 - 越水破堤や破堤拡大の定量的な解析が可能となった

から、その辺の兼ね合いが非常に難しいということで、実験コントロールがなかなかできないというところがありました。そこにある条件でしかできないとはいえ、この千代田実験水路で実スケールの実験ができるようになった、ということで、ではここを使った破堤実験やそういう対策についての研究をやるんじゃないかということになったということです。

一例を示しますと、実スケールの破堤実験ですので、当然いろいろな観測設備を現地に据えて計測することができます。(スライド10) ビデオ撮影、超音波、あるいはレーザー測量。それからセンサーを埋め込めば、そのセンサーで様々なデータを取ることができます。これはPIV解析によって実験水路の中の破堤時の流向・流速を解析したのですが、このように実スケールで非常に細かい流れを把握することができ、非常に有効なデータを取ることができるわけです。

以上、千代田の実験水路についてのお話をざっとさせていただきます。以降はこの実験水路等を使った破堤実験のこれまでの経過、流れをちょっとご説明していきたいと思います。(スライド11)

この破堤実験は、平成20年ごろからスタート、3つの段階に分けて検討を進めてきております。初めの段階では破堤の進行過程について、どのようなプロセスを踏んで堤防が壊れて広がっていくのか、というようなことを基本とする水理諸量の計測を4年間実施しています。その後の段階で、具体的な対策

工のための研究ということで、破堤の進行をどのようにしたら遅らせることができるのかという研究をやってきました。それで現在、平成27年から取り組んでいるのが、破堤した箇所を、まだ水がゴージャスとこぼれている状態で、どうやって防ぐか、締めていくかという研究に取り掛かっているという段階です。ということなので、まだ研究としては全部完了してはおりません。まだ進行中のものですから、今日お話をすることもかなり断片的なお話になってしまうかと思いますが、ご容赦いただきたいと思います。

具体的な実験の内容に移りたいと思います。一番最初にやったのは、越流によってどのように破堤が進行していくのかを把握するための実験で、2種類やりました。(スライド12) 一番最初は単純に水路を横断堤で締め切って、単純に水を溢れさせてその経過を追うというものでございます。2つ目として、この背割堤の部分を実験用の堤防に置きかえて、水をここから横に、実際の破堤のように溢れさせると

● スライド10

2 実スケールの破堤実験の必要性

- 破堤箇所や時間が人為的にコントロールできるため、PIV解析、超音波(水中)・レーザー(地上部)によるスキニングなどが可能となった
- これにより、洪水時の流況や3次元の河床形状・破堤形状の時間変化などが可視化され、この分野の研究が大きく進んでいる

PIV解析による流況観測結果

● スライド11

3 破堤実験研究のこれまでの流れ

● スライド12

4 越水破堤機構の解明実験(H20~23)

【目的】越水による基本的な破堤進行過程の把握

①正面越流

②横越流

ということで、その破堤の挙動を見ていくということをやっています。

最初のこの横断堤の時には、高さは2.5m、天端幅が2mぐらいの堤防で、これは同じような実験はどれもそうですが、表面に植生等がない裸の堤防状態で、天端も何も処理していない状態でやっています。横越流の場合には、先ほど実験水路の流量が70m³/sぐらいしか確保できないとご説明したと思いますが、その流量で安定して水位を維持しながら溢れさせるためには、30mの水路幅だとちょっと大きすぎるんですね。それで、間を矢板で仕切って水路幅を8mに狭めています。

まず正面越流の実験です。(スライド13) 下に絵を描いていますが、この実験では、堤体の中に加速度センサーをたくさん埋め込み、その加速度センサーが流出した時間を自動的に計測できるようにしておき、いつ、どの場所で欠けていったかが分かるような形になっております。

実際の映像を見ていただきたいと思います。まず、真ん中を少し低くして、真ん中から越流が溢れるような仕組みにしておりますので、そこから溢れ出していきます。それで、最初は法面をどんどん削っていくのですが、侵食が川側の肩まで到達すると、急に氾濫流量も多くなってきて流速がどんどん増していく。それで全体に流れるようになると、今度は横の方に決壊が広がって、決壊幅もどんどん広がっていくという、そういう過程を踏んでいます。

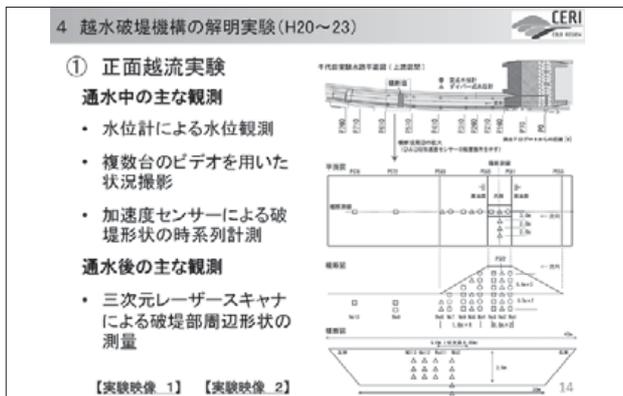
その時の、破堤の進行とともにどのように断面が

変化していつているのかをお見せしたいと思います。左上がハイドロです。それで今、丸いドットがずっと動いていきますが、ピークの時で50m³/s弱ぐらいの流量がここからこぼれていきます。この緑の丸が加速度センサーが埋めてある位置で、センターの断面で書いています。最初の茶色の線が初期の地形で、それがどう変わっていくかというのを緑の線で示しております。流量がほとんど増えていないのですが、この段階でも大体表側の法が欠けていくのが分かると思います。このあたりでもう裏側まで決壊が進んでいますね。まだ流量的にはそれほど多くはないのですが、もうこの段階では堤防のセンター部分というのは全くなくなっています。法尻部分に深掘れが生じてきているのが分かると思います。

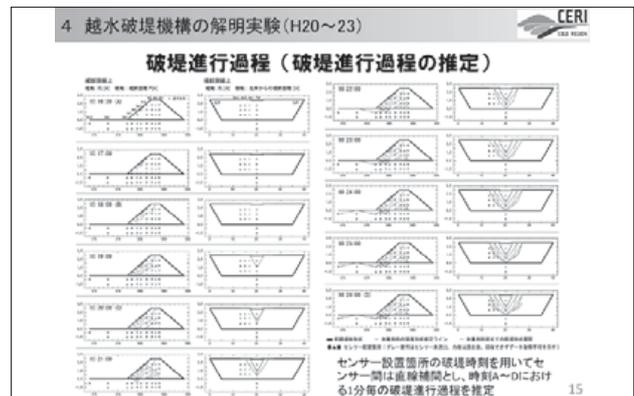
今のビデオを図に表したものがこのグラフです。(スライド14) 時間とともにまず川裏側の堤防の法面が欠けていって、法肩部分が削れて、それが進行していって、川裏の法肩まで通る。この段階で急激に流量が増えてきます。正面から見ると、まずは縦にどんどん堤防の決壊が進んでいって、ある程度決壊が河床のあたりまで到達すると、今度は横の方に広がっていく。それで、この決壊幅がかなり大きくなったこの時点で、今度は落ち掘れが形成されていく、という過程をどうも踏んでいるようだというのが分かりました。

これが通水を終わった後に地形測量をした最終的な形状です。(スライド15) 堤防の決壊部分は上流側に開いたハの字型をしており、流れ込む時にこうい

● スライド13



● スライド14



う断面を形成していました。それで、ちょうど堤防の裏法尻のあたりよりちょっと手前あたりから深掘れが生じてきて、センター部分に深掘れが生じています。逆にこの横のところは深掘れした土砂が溜まったような形状になっています。この深掘れのこの位置というのは、例えば今年の鬼怒川の堤防の決壊の時もやはりこのような深掘れができています。深掘れの位置は堤防の川表側のラインまでは到達してなくて、大体センターぐらいから堤内側にかけてガバッと掘れるようなそういう位置に深掘れができていました。

続いて横越流の実験についてお見せしたいと思えます。(スライド16) 横越流の実験は、これも同じように破堤させるところに切り欠きを作り、破堤位置を予めコントロールして破堤現象を発生させています。全体としては4つのステップで破堤が進行していくというのが見てとれました。最初のステップが破堤の初期段階、堤防から越水し始めた時期です。それで先ほどの正面越流の場合もそうですが、まず

堤防の法面から侵食されていきます。この段階ではまだ流量はほとんど増えていかない。縦に侵食が進みながら川側に侵食のラインが進行していくという段階です。

これが2つ目のステップに入りますと、この侵食が川表側の法肩を超えて川の水面部分まで通ると、今度は一気に流量が増えてきます。ここで堤防の破壊が急激に進んでくるという状況です。(スライド17)

そして3つ目のステップです。(スライド18) 拡幅が加速的に広がっていくという段階に入ります。氾濫する流れが真っすぐではなく、下流側の堤防の断面に斜めにぶつかるように主流線が形成され、この主流線がぶつかる場所がもっぱら削れて、堤防の欠けは下流方向により進行していきます。進行するに従ってその主流線の位置もだんだん下流側に動いていって、それで上流側の欠け口のところには止水域のような非常に流れの緩い場所が形成されて、それでその前面には土砂が溜まっていくというような

● スライド15

4 越水破堤機構の解明実験(H20~23)

破堤最終形状

- 破堤部開口形状は表法側が大きく開いたハの字型
- 落ち掘れの最大洗掘深の発生箇所は裏法尻近傍

16

● スライド17

4 越水破堤機構の解明実験(H20~23)

Step2 [拡幅開始段階]

- 越水部の侵食が川表法肩まで進むと、上下流方向に侵食が進み始める
- 氾濫流量が増加し始める

18

● スライド16

4 越水破堤機構の解明実験(H20~23)

② 横越流実験

Step1 [初期破堤段階]

- 堤防から越水し始めると、越水部の法面が侵食される
- この段階では氾濫流量はあまり増加しない

17

● スライド18

4 越水破堤機構の解明実験(H20~23)

Step3 [拡幅加速段階]

- 破堤幅が広がると、侵食は主に下流側に進む
- 氾濫流の流速が速くなり、この主流が下流堤体にあたりさらに侵食する

19

過程が見られます。

それで最後のステップ、拡幅の減速段階です。(スライド19) ある程度、拡幅が進みますと、侵食は進んでいくのですが、ある程度の段階でこの辺に土砂が堆積していきまして、氾濫域の土砂の堆積は氾濫流ではほぼ一定に推移してゆき、だんだんと破堤拡幅速度が遅くなっていく。溢れる水の量とこの断面の関係だと思いますが、この実験では非常に川の幅が狭い。要するに、氾濫流量を供給する量が少ないものですから、この関係もあると思いますが、ある程度の段階で破堤は落ち着いていきました。以上のような4つの過程を踏んで破堤が進んでいくということです。

これも実験映像がありますので、ちょっと見ていただきたいと思います。上の2つが上空から撮影したもので、これが正面からです。こちらは水路の対岸から、この辺が破堤実験をやっている箇所、この辺にちょっと欠けている部分が見えていますが、そういうアングルで撮っています。水面をチョロ

● スライド19

4 越水破堤機構の解明実験(H20~23)

Step4【拡幅減速段階】

- 下流方向への侵食、氾濫域への土砂堆積、氾濫流はほぼ一定で推移し、破堤拡幅速度は遅くなる

【実験映像 3】

十勝川千代田実験水路について 実験報告書(概要版)
http://www.hisi.mlit.go.jp/siyoka/fz_kasen/chiyoda_gaiyo/chiyoda_gaiyo.pdf, 2012. 20

● スライド20

4 越水破堤機構の解明実験(H20~23)

破堤拡幅と氾濫流の水量との関係

- 無次元堤体前縁量と破堤開口部周辺の無次元掃流力の関係(下図)を導き、破堤の進行を計算する数値モデルを開発

21

チョロと動いているのはADCP(超音波ドップラー流速分布計)を搭載したボートで、これは水深方向の流速を測っているところです。

これは今、水を流し終えてゲートを絞った状態です。最初溢れた状態では縦に細いこの部分が集中的に欠けていって、それから今ちょうど通って流量がワッと広がり出したところです。それで一気にこの部分に流れがぶつかって来るので、下流方向に洗掘が進んでいくと。それで跳ね返りもあって、こちら側がこのように欠けていくというのも、千代田ではよく見られた破堤の形状でした。

こういう実験をしながら流速の分布や、土砂の崩壊のスピード、位置、土砂量といろいろなものを計測していくわけですが、幾つかある中で例えば今回の実験である程度整理ができた答えとして、堤防の下流側の欠け口にぶつかる流れの掃流力と欠ける量、崩壊土砂量との関係について、ある程度リニアな関係が求まってきたので、流速が分かればそれに対する堤防の侵食量というのをある程度シミュレートすることができそうだということです。(スライド20)

このようなモデルをつかって、それで実際に今回の実験結果をモデルで再現してみました。(スライド21) そうすると例えばこういうところには止水域ができていて、流れの主流線が斜めにもぶつかってきて、破堤の進行とともにこの主流部がどんどん下流に動いていくというあたりの再現が非常にうまくいったという事例です。

● スライド21

4 越水破堤機構の解明実験(H20~23)

破堤計算モデルによる破堤実験の再現

破堤計算モデルによる破堤実験の再現(左)と実験の破堤状況(右)

樋沼幸治・清水源行・奥田大輔・井上卓也・横山洋: 千代田破堤実験における堤体前縁量のモデル化, 土木学会水工学論文集, 第58号, 2014.3/4発表 22

ただ、このようなモデルにしても、先ほどの図にしても、これはあくまでも千代田の実験水路という一定の条件下での現象ですので、まだまだこれがどの川でも当てはまる結果というようなものでは当然ないわけです。川の勾配は1/500程度と非常にきつい勾配ですし、堤防の材料の違いや、この氾濫する川の水の量によってもたぶんこの崩壊の形というのは違って来るかと思えます。そういったデータをもう少し蓄積しながら、こういったモデルの改良を進めていって破堤のシミュレーション技術の精度を上げていきたいと思っていますところですよ。

次にお話するのが破堤拡幅抑制実験でございます。(スライド22) これは平成25年、26年の2年間に亘ってやってきた実験です。今までご説明した実験とか、実際の破堤の例を見る限り、堤防決壊してどんどん破堤が進行しつつあり、まだ水がどんどん溢れているような状態でその進行を止めたり、あるいは弱めたりというようなことは、これは本当に容易ではありません。実際に幾つかの河川で破堤した現場を担当された方の率直な意見としても、「ほとんど難しいですよ。例えばブロックを投入してもそんな簡単には止まるわけじゃないし、みんなゴロゴロ流れていってしまうし、どんどん欠けてしまうし、せめればせめるほど反対側が欠けていってしまうし……」というような話も当然お聞きします。

まさにそのとおりで、なかなか破堤の拡幅の進行を遅らせるというのは技術としても相当に困難なものでございます。それでもやはりこういう侵食を緩

和する技術というものを開発することにチャレンジしていかないと、いつまで経ってもできない。お手上げだということで技術が止まってしまうので、あえてそういうところにもチャレンジして研究をやっていくという風に考えております。

それで破堤拡幅抑制工のイメージでは、どのようにしてその進行を止めるような技術があるのかということです。(スライド23) いろいろあると思いますが、我々が実際にやってみたのは、堤防の決壊は下流に向かって進んでいくということですから、ではその進んでいく方向に待ち受けてブロックを置いて、そのブロックによって少しでも破堤の抑制ができないだろうかということに着目しました。

破堤が進行していくと、そこに置いたブロックも当然水中にどんどん没していきます。ただ、没していく過程でその欠け口の前面を被覆するようになるわけですから、これによって水が直接堤防の断面にぶつからないので破堤の進行を弱めることができるのではないかと。それから、落ちた後もブロックが地盤上に留まっていれば、落ち掘れとかの河床の洗掘に対しても根固め効果で侵食を抑えることができるのではないかと、という機能を期待して拡幅抑制工を考えてみました。

実験では、いろいろなブロックの配置パターンをやっています。(スライド24) 今お示しをしたのが堤防の天端と法面と法尻に連続的にブロックを置いて覆うというものです。この他に法面だけに置くパターンや、あるいは法尻だけに置くパターン等、い

● スライド22

5 破堤拡幅抑制実験(H25~26)



【目的】 破堤の拡幅進行速度を遅らせ、停止させるための技術の開発

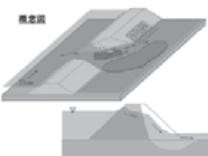
23

● スライド23

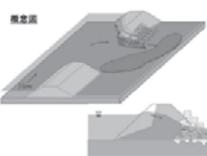
5 破堤拡幅抑制のイメージ



<p>破堤拡幅時</p> <p>①堤防・堤防基礎の侵食 → 堤防基礎の堤防下側と堤防基礎部が侵食され、上部が沈下力を失い侵食する。</p> <p>②水面勾配・掃流力 → 河床水位が低く、堤防頂上の水位差が大きい。 → 堤防側の水面勾配が大きくなり、掃流力が増える。</p> <p>③流出・流速 → 掃流力の増大により、堤防頂上の水位差が減少し、河床下側の水位が低くなる方向に侵食する。</p>	<p>破堤拡幅抑制メカニズム(破堤拡幅の停止時)</p> <p>①堤防基礎の侵食抑制 → ブロックにより堤防基礎の侵食が抑制される。</p> <p>②水面勾配・掃流力の緩和 → ブロックによる水位の低下により、河床と堤防頂上の水位差が小さくなる。 → 水面勾配や水流がゆるくなり、掃流力が低下する。</p> <p>③流出・流速の緩和 → ブロックにより、河床側の主流線は、河床傾斜方向から堤防側方向となり、流速が緩くなる。 → 主流線の洗掘が抑制され、堤防側方向に河床侵食を集めるような流れとなる。</p>
---	--



堤防断面



堤防断面

24

ろいろなパターンを実験しております。今回お見せるこのパターンでは、欠け口のところから10mぐらい後ろのところに、20mの幅でブロックを天端から法尻まで敷設したものです。これについてお見せしたいと思います。(スライド25)

実験に使用したブロックは北海道の中で水防資材として保有数が多くて実績もあるブロックということで、こういう形の2t根固めブロックを使用しています。非常に突起があって、水中に没した後も転がりにくいし、お互いが引っかかりやすいという機能が高いのではということで、このブロックを使いました。

実験では先ほどお見せしたように、何も無対策で破堤の実験を行った時と同じ70m³/sの水を供給して2時間通水するという条件で行っております。水路の勾配は同じ1/500です。

堤体材料ですが、これは実際の十勝川の河道内から採取した土砂を使っていますので、正直かなり粗いです。(スライド26) 0.1~10mm、数十mmという

ところなので、粒径の区分から行きますと砂から礫の範囲になります。例えば先ほどの鬼怒川の堤防ですと、シルト、砂あたりが卓越したもののなので、それに比べると1オーダー以上大きい粒径になります。本当はもっと細かい粒径を使って実験できればいいのですが、現地の材料、という制約があるので、このような条件でやっております。

実験の経過ですが、基本的には先ほどお見せした破堤実験の動画と最初のうちは一緒です。(スライド27) ここから欠けていって、下流に進行し、その進行した先端がブロックのところまで到達します。それでブロックのところまで到達した後は、進行速度がぐっと遅くなり、堤防決壊に対して抑制効果が確認できました。今回の実験では、この20mの敷設した区間で最終的に破堤が止まるかなと思ったのですが、止まりませんで、ブロックの区間を通り過ぎて、さらに20mぐらい進行した段階で進行速度が落ちてきたので、ここで実験を止めたという状況です。(スライド28) もう少しブロックが長ければ止まっ

● スライド24

● スライド26

● スライド25

● スライド27

たのかなという感じがあったのですが、なかなか思いどおりにはいかないものでございます。

これが最終的な通水後の形状です。(スライド29)ここが切り欠き部分で、ここがブロックを敷設した場所で、そこから15m行ったところで終わったということで、都合、決壊の延長としては60mぐらいの決壊幅になりました。ブロックの位置を見てほしいのですが、最初の前面部分のブロックはかなり流されてこの辺まで来ているのですが、こちらの方のブロックはほとんど置いた場所の位置でそのままストーンと下に落ちています。きれいに並べておいたのですが、その形を保ったまま落ちているということで、この辺のブロックは流されないで、ある意味この部分の護床としてよく機能していたように思います。

これについても実験映像をお見せします。ポロポロ欠けるようにして下の方にブロックが落ちていきます。このあたりから進行速度がかなり遅くなってきています。大体この辺で止まるかなと思ったのですが……ちょっとお気づきかと思いますが、この裏側はここも浸透と、あとはブロックの背面を流れている流れがあって、そこがここの部分に出てきてやっぱりここから抜けました。それがまた水みちになって、またここを通り過ぎた後に侵食が進んでしまったと。どうもそういう状況だったようです。

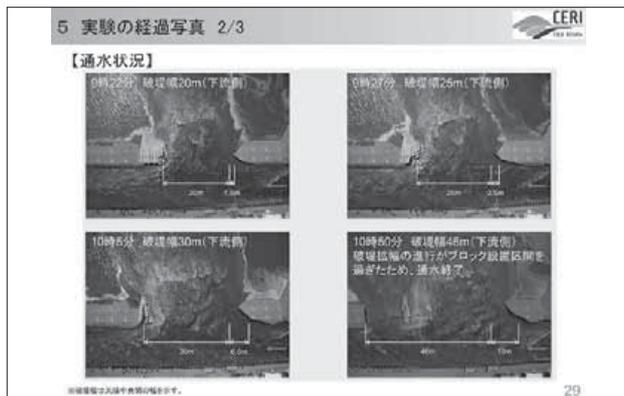
これは通水が終わって水を落とした状況です。上から見た写真は先ほどお見せしたのですが、横から見た状況はこういう感じです。こちらを見てもお分かりのように、ブロックを置いてなかったところは

完全に堤防の形がなくなっていて、むしろ洗掘等も起きているのですが、ブロックが置いてあった箇所は、元の堤防ほどではないのですが、ある程度の高さをキープできていますし、このように前面を覆っていますので、堤防のある程度の機能を代替していたかなと思っています。流量との関係など、まだ細かいところまで分析ができていませんが、ブロックを敷設することによる破堤拡幅の抑制効果というものと、堤防のある程度の機能の代替という効果は見たとれたと思っています。

この時の堤防の拡幅の時間経過を見たグラフです。(スライド30)線が2本あるのは、プラス方向が下流側の欠け口の先端部、マイナス方向が上流側の欠け口の先端部の位置を示していて、この間の長さが決壊幅ということになります。この網掛け部分がブロックを設置した部分です。決壊がどんどん進行していった、最初はブロックの敷設位置に入っても、半分ぐらいの距離までは速度はそんなに落ちていないのですが、それを超えるとグッと決壊速度が落ちました。こちら辺でかなり速度が遅くなって、本当はここで止まってくれれば万々歳だったのですが、ここを抜けてしまってからまたスピードが少し上がりました。立ち上がりほどは早くはないのですが、また進行が始まっていた、という結果でした。ですから、この結果から見ても、ブロックによって堤防の決壊速度を遅くする効果というのは十分にあったと考えられます。

こちらが流速です。(スライド31)左側が抑制工

● スライド28



● スライド29



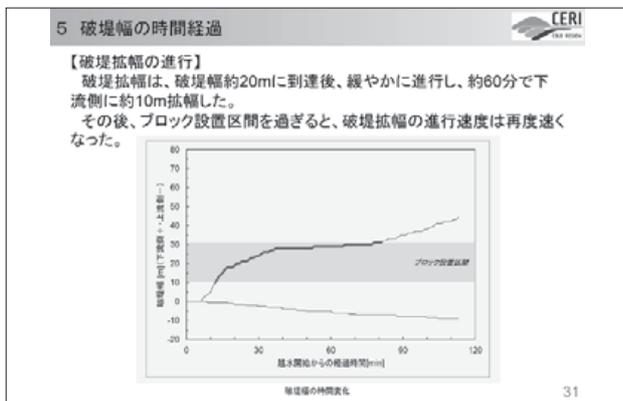
をした時、こちら側に抑制工がない時の実験です。これは一緒にやった実験ではないので一概に比較はできないのですが、同じような場所・状況のところを比較したものです。抑制工なしだと破堤部を通り過ぎた後の堤内側の流速が、速いところでは4m/s以上の流速が出ているところが、抑制工ありの場合だとブロックの部分乗り越えた流れはかなり流速が抑えられています。ということで、流速を低下させる効果もあったと評価しています。

これは実際に敷設したブロックがどこにどのくらい移動したかというのを一個一個マークして通水の前後で場所を確認したものです。(スライド32) フロント部分のブロックはやはりかなり飛んでいます。長いものだと10m以上流されています。流されているブロックと流されていないブロックが、流速との関係で一体どうなっているのかを見たグラフがこちらです。(スライド33) このベースの図は護岸の力学設計法に示されている、流れに対してブロックが動くか動かないかという判定のための図です。

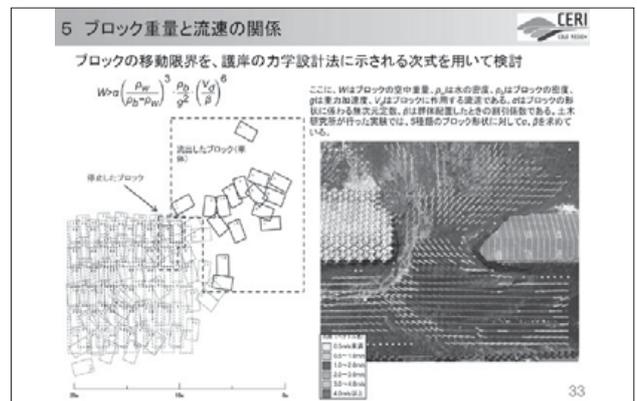
それでこの点々が長方形の根固めブロックです。単体として、この線よりもこちら側にあると動いて、こちら側にあると動かない、という境界の線です。

それで、2tのブロックであると、力学設計法でいくと大体3.5m/sあたりが限界流速だということになっていますが、今回の実験では赤の×が実際に動いたブロックで、○は動かなかったブロックです。2tのブロックしかないのでここだけしかデータは並んでいないのですが、やはりこのラインよりも遅い流速でも動いたブロックがかなりありました。力学設計法は、河床に静置したブロックに対しての流れの作用について言ったものですが、この実験では流れの中に落ち込んだブロックが初期位置からどのくらい動いたかということで判定していますので、当然落ちた瞬間に流速に当たって動くので、やはりより動きやすいというような感じですね。ですから、もちろん力学設計法とは条件が違うのですが、それよりも遅い流速でもブロックが転動しやすいということには留意していかなければいけないと思って

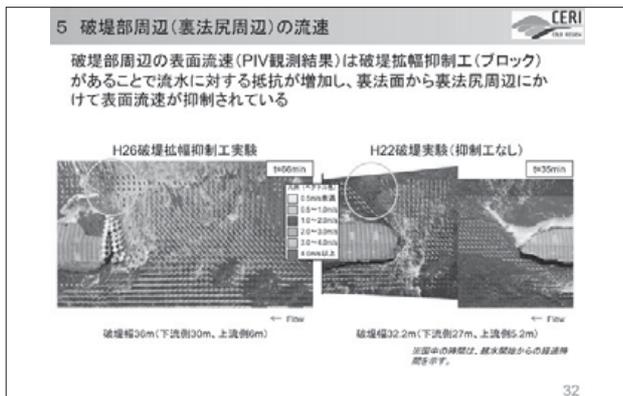
● スライド30



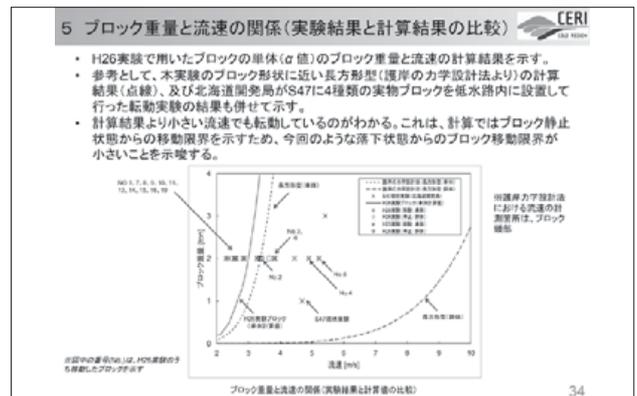
● スライド32



● スライド31



● スライド33



います。

それではいよいよ締め切りの実験の話に移りたいと思います。(スライド34) 荒締め切りをする上では、非常な困難が伴います。片側から締め切っていくと反対側の欠け口が侵食したり、あるいは河床がどんどん下がっていったりと、ある意味でイタチごっこ的なところがあります。ですので、このような状況の中でいかに効果的に締め切るか、例えば手順、方法、ブロックの大きさ等を判断する技術というのが当然必要になってきます。

締め切り工の研究をする上では、やはり事例研究が大事なので、幾つかの過去の事例をお見せしたいと思います。これは昭和34年、伊勢湾台風の時の堤防決壊箇所をどのように対応したかというのを、文献からちょっと拾ってみました。(スライド35) 下の方に「せめ工の手順」と書いてありますが、やはり石をどんどん決壊口に放り込みながら、最後は木枠で一気に締める、ということです。やはり一番絞ってくる流れが非常にきつくなるので、そのとこ

ろは木枠を使って一気に締めたというようなことが記録に残っています。

これは多摩川の昭和49年の事例です。(スライド36) この時には堰があって、堰の袖部分を回り込むようにして堤防が決壊した事例ですが、この時には「牛枠(10tに近い)」と書いてありますが、こういう牛枠、あるいはテトラポットも5t、非常に大きなテトラポットを使ってやったのですが、最大で300mぐらい流されたものもあったと書いてあります。とにかく物量作戦で追い込んでいって、これは破堤から復旧するまで14日かかりました。どの時点で14日かというのはともかく、そのぐらい締め切るが大変だったということで、特にこの時はそもそも堰によって低水路が外側に切り替わってしまったという状況なので、水が引いても流れ自体は全然減らない。堤防決壊ですと高水敷以下に水が下がると後で水なしで復旧できるのですが、この時には常に水が流れている状況で復旧したので、非常に大変だったということです。

● スライド34

● スライド35

● スライド36

新水路もまだ工事をしている時にこういう目にあっています。(スライド39) 工事をしている時に、本流部分から掘削中の新水路部分に水が入ってきました。それで矢板で仕切っていた中の工事をしていたのですが、その矢板を突破されてしまって、ここを閉塞するのにえらい難儀をしたということです。この時は、10tの大型石かごをつくって、それをドーンと落とし込むという方法で一気に閉塞したということです。

いろいろな事例を見ていますと、最後、閉塞する時というのは個別にポコポコ突っ込んでいってもなかなか止まらない。何か、大きなものとか、マット状のものとか、そういうもので一気に塞がないと流水には勝てない、そういう事例がほとんどでした。そういった過去の事例も踏まえながら、荒締め切りの最終的な技術を見つけないかということで研究を進めております。

それで、この研究をするにあたって、やはり現地の十勝川のフィールドだけですと1年に1回、せい

ぜい2回ぐらいしか実験ができません。規模が大きいですし、試験期間も限られていますし、1回造った堤防をもう一回造り直して実験するということになるので、やはり繰り返し実験はなかなかできないものですから、縮尺模型実験と併用してやりました。それでこの時に使ったのがつくばにある実験水路です。そちらで千代田の1/20のスケールのミニチュア版を作りまして、そこでいろいろなケースの実験を並行して行いました。(スライド40)

まず、締め切りをするために、どのぐらいの流れに対して、ブロックがどのぐらい動くのか、動かないのかということと、どこをきちんと見極めたい、ということで、「ブロック転動実験」として、流れの中にブロックを投入し、流速と、転がる、あるいは転がらない、そういうようなものを見ました。(スライド41) ここに使ったブロックも先ほど説明した2t型のブロックでございます。単体のものと、2つをワイヤーで連結したものの両方を実験しました。あわ

● スライド37

6 荒締め切(せめ工)実験(H27~)
(3)堤防決壊時における緊急対応の事例3:小貝川災害(556)

【せめ工手順】
1. 決壊口の堤防を掘削して、決壊口の上流側で、草皮マット工法及びシート張り工事の投入を実施。下流側では、掘削したブロック(1×2)の投入を実施。
2. 上下流同時に掘削したブロックを投入し、その上に割栗石を投入して定着を促進する作業を繰り返す。下流側は、堤防決壊口と決壊口間を河床との差が大きいので、掘削したブロックを大量に投入。
3. 上流側と下流側を結合して、荒締め切完了。その後、二重締め切(断矢板打設)を上下流側から同時に開始して締め切完了。
※堤防決壊から荒締め切は約3日、荒締め切から二重締め切は約7日かかった。

● スライド39

6 荒締め切(せめ工)実験(H27~)
(6)その他事例2:千代田新水路復旧工事(H14)

H14.10.2 出水の影響で十勝川本川と十勝川新水路の間の溢水矢板が破損し、新水路側へ流入

【せめ工手順】
1. 上流側から中野石でマウンドを築き、掘削したブロックで復旧しながら下流側へ移す。
2. 矢板が破損することで流速が速くなり、下流側を復旧。
3. 下流側の復旧しながら、上下流を同時に締め切る。
4. 閉塞時には、10tの大型石かごを用いて、透過性を保ちながら、一気に閉塞した。
※閉塞口部10mまで築くと3層の掘削したブロックは流される。
※矢板越水開始から締め切完了まで約16日かかった。

● スライド38

6 荒締め切(せめ工)実験(H27~)
(4)堤防決壊時における緊急対応の事例4:小貝川災害(561)

【せめ工手順】
1. 決壊口の上流側よりブロックを投入し、続いて下流側よりブロックの投入を開始。
2. ブロック投入開始の段階でブロック投入と割栗石の投入を同時に行い、定着を促進する。
3. ブロックの投入完了後に、割栗石の投入し締め切る。
※堤防決壊から荒締め切は約7日、荒締め切から二重締め切は約8日かかった。

● スライド40

6 荒締め切(せめ工)実験成果の適用イメージ

現地実験による掘削ブロックの基礎実験
・基礎的な挙動と移動限界
・流速の把握
・スケール効果の把握(1/1・1/5実験の実施)

縮尺規模の違いによる相似則の検証
・スケール効果の有無と適用範囲の検証(1/1・1/5・1/20の比較)※1/10時置実験と比較

縮尺模型実験による現象解明
・実験の現象を再現した実験を数多く実施可能(施工方法の検証が可能)
・実験条件の単純化や明確化によって現象の再現性が向上
・計算方法の妥当性の検証

災害時の締め切りでは、施工工法が確立されていない
→迅速な災害復旧に向けて、安全かつ効率的な河川堤防の締め切工法を開発

縮尺模型実験による締め切工法の検討
・ブロックによる施工方法の検討(片輪形締め切など)
・安全で効率的な掘削断面形状の検討(ブロックと土質や砕石などの組合せ方法)

現地実験による締め切の検証
・締め切工法における基本的な課題の把握(実際の時間変化による影響)
・縮尺模型実験によって推定できる現場の把握(掘削前の状態)

せて4tになりますが、単体よりも2つ連結していることで動きにくくなるんじゃないかということを考えてやった実験です。

クレーンから切り離してこのブロックを水中に投入するわけですが、2t、あるいは4tの重量が一気に解放されると、反動でクレーンにも相当ダメージが来て壊れる可能性がある、ということで、北陸地方整備局さんで開発した「ブロック投入安全装置」というものを借りて実験しています。写真の○で囲っているところがその装置なんですけど、どういうものかと言うと、要はブロックを落とした時に、吊荷がいきなりゼロにならないように、装置自体にもある程度の重量を持たせて、吊荷のうちの半分ぐらいとか、そのぐらいの重量しか開放しない、落としても重量が少し残っていることで反力を緩和しよう、というものです。

実験映像をお見せします。このようにして吊って、水路の中に落とすという、非常に地味な実験をやりました。浮きがついていますが、ブロックがどこまで転がったか分からないものですから、浮きをつけて止まった場所がある程度目視で分かるようにしています。これは2つ繋げているものを落としている時の状態です。こういう実験をして、流速とブロックの転動の有無を確認したということです。

これは先ほどの護岸力学設計法の流速とブロックの重量の関係です。(スライド42) 2tだと大体流速3m/sぐらいのところで動くか、動かないかの境界があるということですが、実際にこれが今回の流速で

はどうだったのかというのを調べました。この左上に出ているのがADCPで水面から水深方向に測った流速分布です。赤いのが流速3m/s以上のところを示しています。水深に対してブロックがもし沈んだら、河床からどのぐらいの水深に留まっているのかということです。今回の実験では大体水深の半分ぐらいのところに頭が来るということです。流速を測ったら、ブロックのちょうど上端部分が大体流速3m/sぐらいの境界のところということです。ですから、静置しているとする流速がここにぶつかって来るわけですから、ちょうど転動するか、しないかぐらいのコンディションだったということです。

これはその結果です。(スライド43) このQは流量ですが、60m³/s、50m³/s、40m³/sという流量によって流速をコントロールし、その流速によって転動距離がどうなっているかということを示した図です。やはり流速が3m/sぐらいになると、遠いところだと15mぐらい転がって流されているものもあります。これは落とし方によって、どういう角度で落ちるかによっても転がり方がやっぱり相当に違うので、3m/sでもほとんど転がらないのもありましたし、逆にコロコロと転がっていったのもあったということです。

実験中の水路の中には河床波ができます。河床波がどういうところにできたかによって、ちょうど波のくぼんだ地形のところでは引かかったり、引かからなかったりという状況があったので一概には言えないのですが、単体なら数mは転がったというこ

● スライド41

6 ブロック転動実験

- ・ 締切の最終段階(せめ工)では流速と深掘れが増大し、締切が困難になってくるので、この段階の状況確認の実験
- ・ ブロック単体と、2個連結した場合で実験

【実験映像5】 43

● スライド42

6 ブロック転動実験

静止状態のブロック(トラスフット2t)の転動限界流速の目安は 3.0m/s (護岸の力学設計法より)

今回の実験結果について、トラスフット天増高(h=1.14m)を参考とする(○2tブロックなので、転動限界の目安流速は3m/s)

【実験映像6】 44

とです。

先ほどお見せした実験は1/1、現地スケールの実験ですが、このほかにブロックの大きさを1/5に縮小した実験とか、あるいはもっと縮小した1/20の小さいブロックを使った実験など、いろいろとスケールを変えて実験しています。(スライド44、45)

単体と連結の違いが実験でもある程度は出ました。それで青いところが停止したもの、赤いところが転がったものです。単体だと2~3m/s弱で転がる。連結した場合には、それよりも1m/sぐらい速い流速でも耐えられるのですが、やはり4m/sを超えたものは全部転がっていました。ということで、ブロックを投入する時のある程度の耐流速性というのが、ブロックの種類によっていろいろあると思いますが、ある程度は目安が見ついたということです。

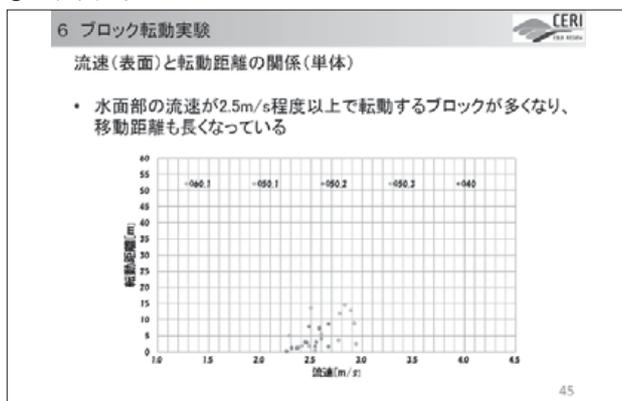
ですので、例えば、実際に破堤している時、現地である程度流速を把握できるのであれば、どういう箇所に、どういう大きさのブロックを投入するかというのを配慮してやるとか、そういうブロックの投

入の仕方というのが考えられるかと思います。(スライド46)

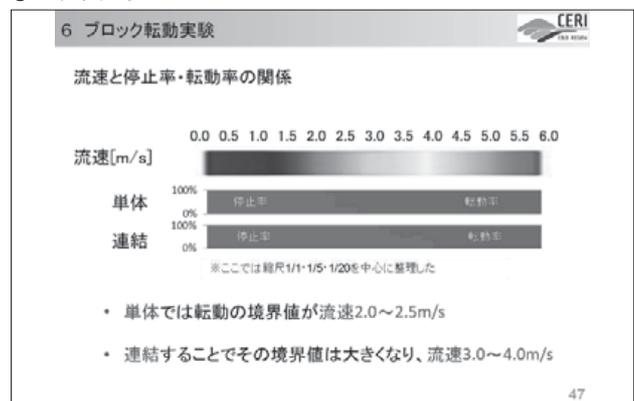
こちらは「せめ工の基礎実験」です。(スライド47、48)「せめ工」というのは、最後、水理的に一番厳しいところを閉塞させる部分をいいます。欠けているところにブロックを投入して塞いでいくのですが、ここの部分の技術を検討するのに、これも最初に、この水路を単純に塞ぐ形で最終的なせめ工のイメージを実験で確認しました。投入の方法は、空中切り離しの場合には北陸地整さんから借りたブロック投入安全装置を使いながら落としていきました。それで、ある程度投入してブロックが水面から出てくると、オートフックという装置を使った投入に切り替えました。これは、吊荷が接地すると荷重が小さくなるのを利用して、吊荷の荷重が500kgを下回るとフックが自動的に外れて吊り荷を落とすという機能のものです。この2種類の装置を使って投入実験を行いました。

これは投入している時の写真です。(スライド49)

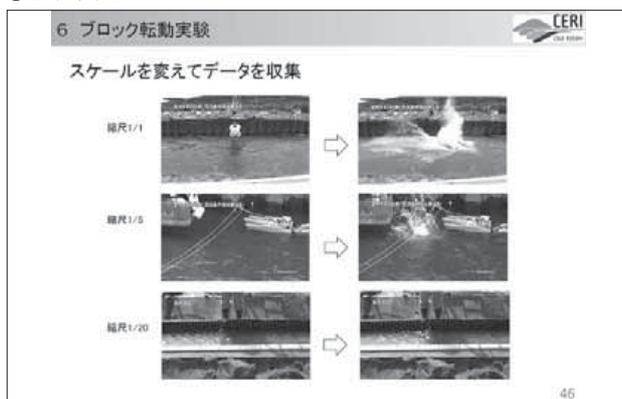
● スライド43



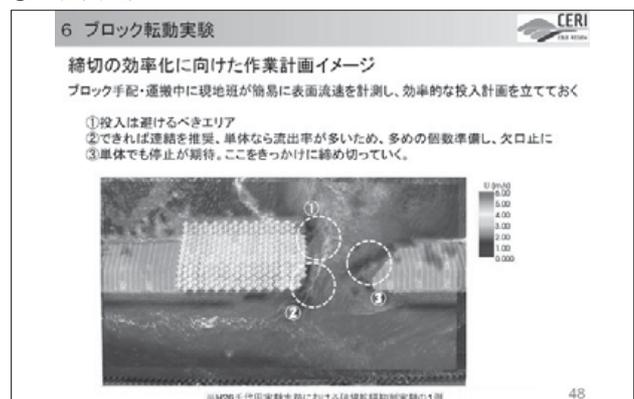
● スライド45



● スライド44



● スライド46



両側から投入していった、真ん中に水道を残すようにして、最後は中央部分を閉塞させるやり方を取っています。実験では56個のブロックを投入した時点で、ほぼ水面に全部ブロックが露出するような形になったので、そこで実験を終了しています。

その時のブロック投入と水位の変化です。(スライド50) 青い線がブロックを投入する場所の下流側の水位、赤い線がその上流側の地点の水位です。それぞれ投入箇所よりも10m、20mの位置の水位の変化をあらわしています。最初はどんどん投入していくと、それによって水位が少しずつ上がってきます。ここで投入方法を切りかえて、再度投入していった、最後にここで水面まで到達したので終わったということです。当然、水面勾配があるので最初から10cm、20cmぐらいの水位差はありましたが、ブロックを投入することでどんどん上流側が堰上がっていった、最終的には1mぐらい上下流の水位差ができています。

このように縦の水路で、上流から流量を供給し続

けながら、ある意味で強制的に水を流しながらやったので、当然、堰上げ現象が起きてきたわけです。ですから、これも実際の河川とはちょっと条件が違って来るかと思いますが、ブロックの透過率の関係から堰上げが生じています。それで流速を見ますと、やはり中央部分に速い流速帯ができてきて、最大では3m/sぐらいの流速ができています。(スライド51)

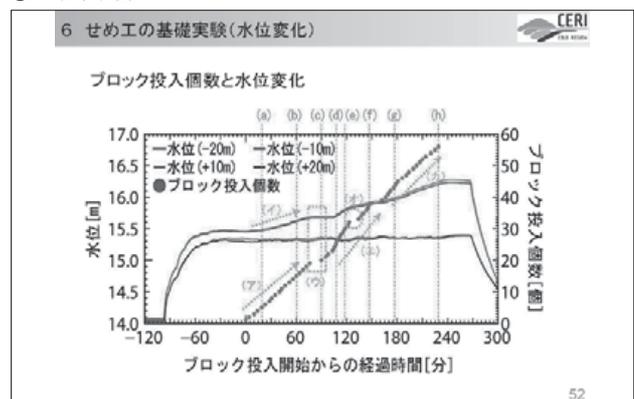
そのときの地盤の様子です。(スライド52) 河床には圧力センサーを入れて、どのようにして河床が掘れていったかを見ています。それで投入個数が最初は5~6個ぐらいからもう下の方がどんどんえぐれていった、ブロックを投入することで河床も掘れていってました。最終的にはこのような形で、現河床から2mぐらい掘れています。ブロックの最終的な河床からの高さが2.5mなので、ほぼ積んだブロックと同じぐらい下まで掘れています。ですので、締め切りの高さを稼ぐためにロスになるブロックの数が相当あるということになります。(スライド53)

● スライド47

● スライド49

● スライド48

● スライド50



転がって下流に流出するのではなく、その場に留まっているにしてもどんどん掘れて下のほうに埋まっていくので、そういうロス率も見込んだブロックの投入準備が必要だということです。

こちらの実験は国総研さんの筑波の水理実験場をお借りして、1/20の模型で氾濫の状況を見たものです。以降説明する長さや流量、時間は実スケールに換算してお話します。

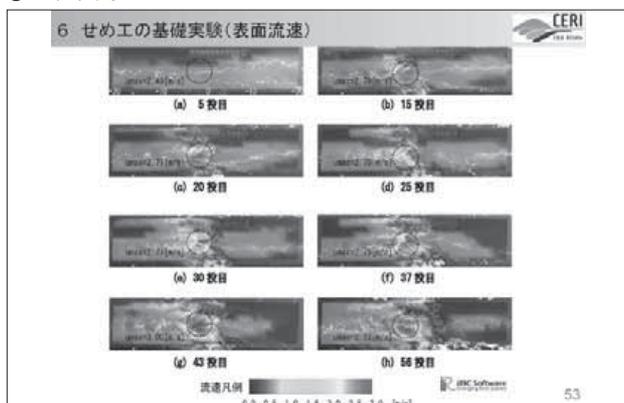
置き方としては、切り欠き部の下流に、実スケールで延長80mになるスケールで抑制工を並べて、まず洗掘させて、それで止まったところにもう一度水を流して、今度はそれを閉塞させていくという実験をしています。

実験は、3つのケースを想定してやりました。(スライド55、56) ケース1とは、クレーンで欠け口の下流側先端部分から1方向で少しずつせめていくというパターンです。ケース2は、下流側と上流側の両方の欠け口先端部分からせめていくパターンです。ケース3は、地上からの作業が困難、例えば堤

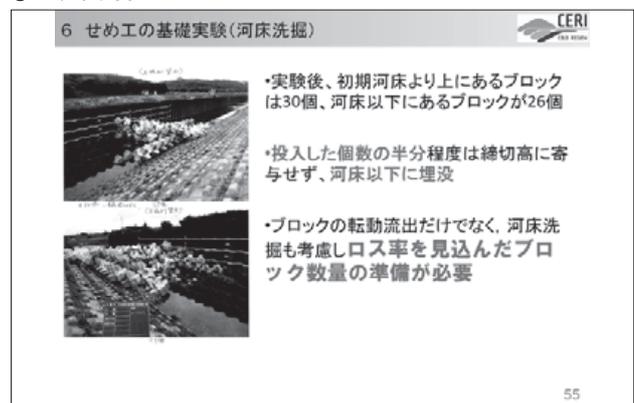
防上、クレーン等が入れないような状況も考えられます。そういった時に、例えばヘリコプターからどんどんブロックを投入していったらどうだろうかということで、横からせめていくのではなく、上からどんどん投入していったら全体的に締め切り高を上げていくというパターンでやったのがケース3です。

このようにして実際にやった氾濫実験の結果もお見せしたいと思います。(スライド57~59) 最初はこのように、千代田と同じようにどんどん欠けていきますが、ブロックの敷設区間で侵食、決壊が止まりました。それで止まった後、人力によって1個ずつブロックを投入していきます。この時のブロックの投入については、現地の実験と同じように1回投入するサイクルタイムを3分と想定して、これは1/20の模型実験ですので、その時間も相似則に合わせて40秒に1回の頻度でひたすらブロックを投入していくというやり方です。それで、こうやってブロックを入れては、そのブロックの上に砂利を撒いていきます。復旧の時には当然、ブロックの上を重機等

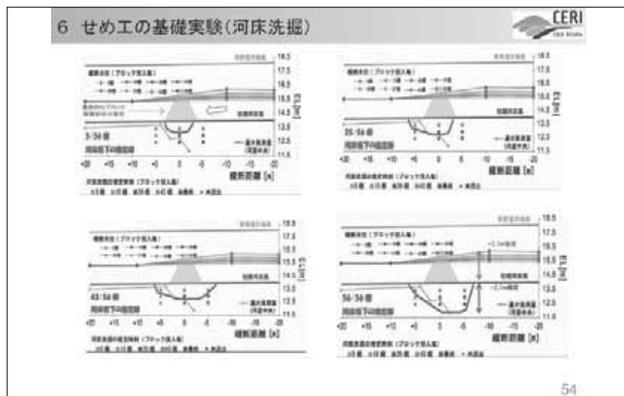
● スライド51



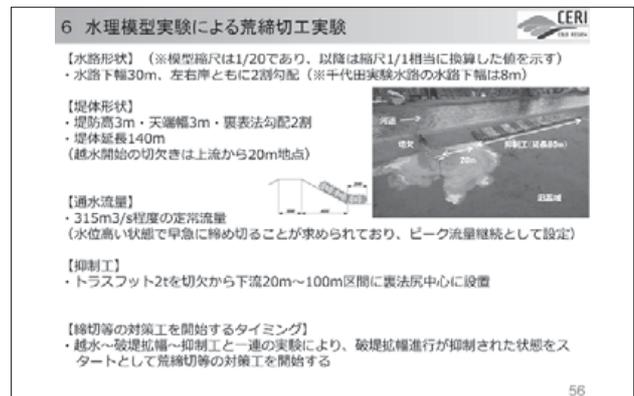
● スライド53



● スライド52



● スライド54



が前進していくための足場を作らなければならないので砂利を充填していくわけですが、その作業も想定して再現してやってみました。

これがそのパターンによる締め切り工の実験です。(スライド60) 左がケース1、片側からせめた場合、中央がケース2、両側から攻めた場合、右がケース3、空中から投入した場合です。欠け口は3ケースとも80mぐらいで止まっていますので、そこからスタートしました。横軸が時間で、この茶色の線が破堤口を締め切っていった先端部の位置です。ですからケース1では60時間後に締め切れたということです。両側からやったケース2では、17~18時間ぐらいで締め切れたということになります。ヘリコプターを想定したケース3は、ちょっと現地の気象コンディション等の事情があったので、とにかく、最大限で投下しようということで、投入速度を相当早くしましたので、1時間ちょっとぐらいで投入が終わっています。

ここで見ていただきたいのは氾濫流量ですが、最

初は全部現地換算で180m³/sぐらいの氾濫流量に対してどんどん狭めていきます。例えばこの時点で開口幅が半分ぐらいまでせめていったのですが、氾濫流量というのはこの時点でもあまり減りません。さらにどんどんせめていって、もうほとんど決壊幅の2割ぐらいまでせめたところでようやくグッと落ちてきました。最終的に全部閉塞したのですが、氾濫流量はここで止まっています。ここの部分は、閉塞したけれども、全体から漏れている流量ということ

● スライド55

6 水理模型実験による荒締切り工実験

- 荒締切の方法は漸縮工と底上工を想定
- 漸縮工は従来から採用されているクレーンによるブロック投入と、ダンプトラック・ブルドーザによる砕石投入を想定(ケース1・2)
- 底上工はヘリコプターによるブロック投入を想定(ケース3)

① ② ③ ④

57

● スライド57

6 水理模型実験による荒締切り工実験

59

● スライド58

6 水理模型実験による荒締切り工実験

60

● スライド56

6 水理模型実験による荒締切り工実験

60

● スライド59

6 水理模型実験による荒締切り工実験

61

になります。要するに、水を止め切れなかった部分です。

ケース2ですが、これは両方から攻めていったので、上流と下流のそれぞれの閉塞長さがここで閉合しました。これを見ても同じです。ピーク流量に対してなかなか減らなくて、最後2割ぐらいでグッと減っていますが、やはりここで漏れている。

ケース3、ヘリコプターの場合にはもっと顕著です。結局、ヘリコプターですから間詰めとかはできなくて、ただブロックを投入しているだけなので、相当空隙があって、漏れの量は両側からせめるよりもかなり多かったということです。

以上を表でまとめてみます。(スライド61) ケース1はブロック投入が1,000個、ケース2も同じぐらいです。ケース3はブロックの投入個数は少なく済みました。これは、とにかく高さを稼ごうということで、ケース1に比べて締め切るブロックの幅がちょっと狭かったために、投入数が少なかったということです。それで180m³/sのピーク時の氾濫流量に対して、ケース1で60mm³/s。ケース2も同じぐらいで55m³/s。ケース3が100m³/sということで、ピークの氾濫流量に対して実際にはどのぐらいの流量を低減できたのかと言うと、30%~15%ということで、なかなかブロックを投入して洪水時に頑張っただけで締め切っても、7割ぐらいの流量が漏れてしまっているということが、この実験で得られた結果です。

この映像はケース1の作業の状況です。時々、着色料を流しているのは、流心位置の把握や、PIVで

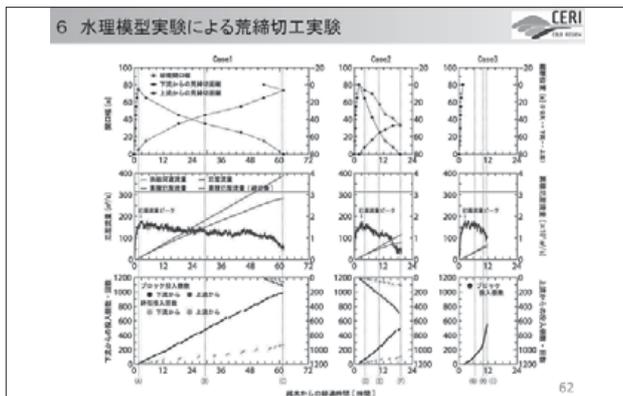
流速等を測るためにやっています。上から見ても分かるように、進むに従って先端部分の敷設の面積がオタマジャクシの頭のように広がってきています。進んでいくに従って掘れていくので、たくさん投入しなければならなくて、このように広がってきています。

これはケース2、両側からやった場合です。両側からやった場合、下流側よりも上流側のほうが施工は非常に楽でした。というのは、やはり流心が下流側にぶつかるものですから、下流側の先端部分がやはりすごく掘れて、投入量も非常にたくさん必要になります。上流側はある意味で止水域なので、ブロックを投入しても安定していますし、河床が掘れていないので投入個数も少なく非常に作業がしやすいということで、効率性からいくと上流側からせめていったほうが非常に速く締められるということも分かってきました。閉合するところは相当に流れが厳しいので、深掘れ等も起こっています。

最後はケース3、ヘリコプターです。あっち置いたりこっち置いたりしながら全体的に高さを稼いでいっているということで、この場合には間詰め等もしていないので、全体的に水がかなり漏れていて、やはり空中投下だけだと締め切りはできるにしても、漏れの量を抑えるのが結構大変だということです。

このグラフは、点線が欠けていく時の時間と開口幅、それに対する流量の変化を示しています。同じ色の実線が、今度は締めていく時にどういう経路を

● スライド60



● スライド61

6 水理模型実験による荒締切り実験

実験結果のポイント

	ケース1	ケース2	ケース3
所要時間(時間)	60	17	26
投入ブロック数	1,107	970	549
ピーク氾濫流量 (m ³ /s)	180	180	180
締め切時漏水量 (m ³ /s)	60	55	100
氾濫流量低減率 (%)	約30	約30	約15

たどって締まっていくかというのを示しています。(スライド62) 例えばこの青の線を見ていただきたいのですが、決壊していく時の開口幅の流量よりも、締めていった時というのは、同じ開口幅まで狭まっても流量が落ちないということで、ループを描くようになります。つまり、破堤が進む時と締める時では、同じ開口幅でもなかなか流量が減らないということを実験では表しています。

ちなみに、グラフ中のケース4というのは今まで示していませんでしたが、これは遮二無二漏水しないような工夫、要はブロックにコンパネを張り付けて、もう絶対に漏れないような形にしてドン、ドン、と置いていったのですね。それでやってもやはり、拡幅していく時よりも、締めていった時の方が同じ開口幅でも流量が多い。

これはなぜかということですが、こちらが堤防高の線で、こちらが河床の高さの線、つまり堤防を横から見た状態と思ってください。これが決壊口からの距離です。(スライド63) 最初はこういう形で欠けました。塞いでいった時にこういう形になっていく。ケース1は下流側からどんどんせめていっているので、せめていくと当然欠け口の長さは減るのですが、フロント部分というのはこのように下に掘れていきます。ですから、ここの部分は逆に増えていっている。それで閉塞を進めていくと、やはりどんどん河床が掘れていくということで、ここの掘れた部分が氾濫の流量に対してかなり効いているということです。ですから、締める時にはここを何とかしな

いとイケないということになります。

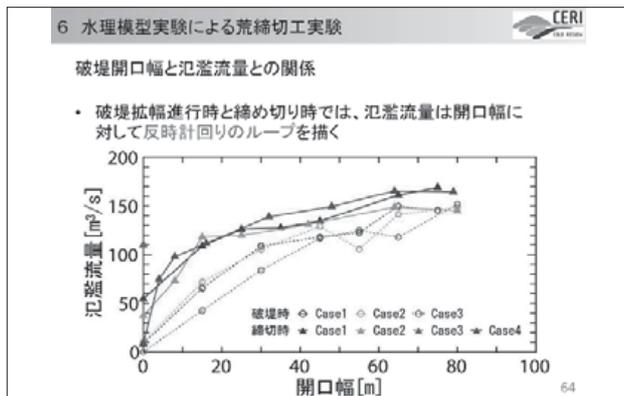
両側からせめる場合にも同じです。最初の断面が広がって、それを閉塞していくとこういう断面になります。下が掘れているということで、単純に開口幅を比較するよりもこの部分が多く流れるということになりました。

ということで、いろいろなパターンで締め切る実験をやったのですが、考えているのは、この河床の低下を抑えながら締めていくことで、どのぐらい効果があるのかということ。それからこの漏れの評価をどのようにやっていくかというところを、今年は続けて実験をやっていきたいと思っています。

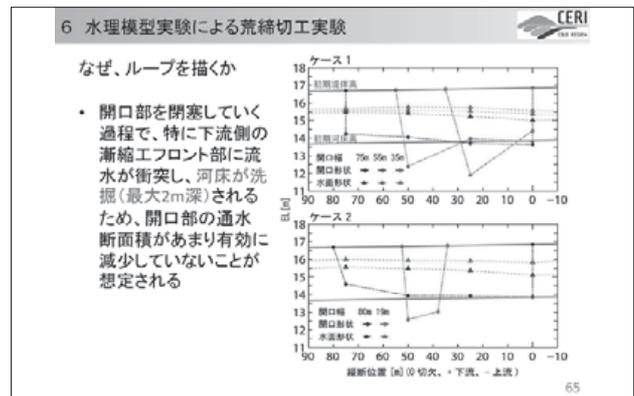
あとは、こういった実験の成果を、どのようにして実際に現場で活用できるようにするかということで、最後はきちんと出口を作らないといけませんから、その部分を、併せていろいろ試行的に検討しているところです。(スライド64) 例えば、実際の作業ではサイクルタイム的にどのぐらいでこういった対応ができるのか、それと洪水のハイドロの継続時間とか、それから氾濫している水位の状況とか、そこら辺をちゃんと考えないと、実際に作業が始まった時にはもう水位が下がってしまうとかそういうようなことも当然ありますので、その現場に応じたオペレーションの計画を立てなければいけない。そのためには実際の現場の作業というのをどうイメージするかということも大事だと思います。(スライド65)

このように実際に作業に入ってからブロックを運

● スライド62



● スライド63



搬して、敷設して、一連の作業を完了するまでの流れをいろいろ検討しながら、実際に現場でできる手順、そういうようなものを今いろいろ検討しているところです。

最後に、これは一番最初に説明しましたが、堤防を強化するということで天端と法尻については今、国交省でも全国的に展開していっています。(スライド66) だけど、一連の実験でもお分かりのように、越流したら法面がやられています。天端を抑えて、法尻を抑えれば、確かに法面の洗掘というの相当抑えられると思いますが、最終的にはやはり法面も何とかしなければならぬ。だけど、今の時点で法面に対して構造物で対応するというのは非常に難しい。河川堤防は土堤であるべしというのと、堤防の中には異物を入れないというのが哲学なので、ではどうしたらここを守れるかということです。アーマーレーヤ、あるいはシートで守るといっているのですが、一方で堤防の維持管理の面から克服できないような課題もありますので、なかなか構造的

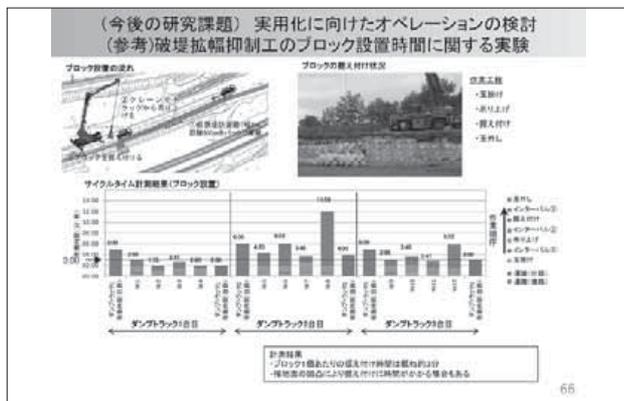
に実装するのは難しいのが実情です。であれば、水防技術として危ない時に法面を守るということで堤防の強化を図れないかということも、我々の中での研究テーマとして、今考えられています。

本当に簡単な、遊びのような実験をしてみましたので映像をお見せします。左上が全く何も対策なしの土羽堤防で、右上が天端だけをシートで覆ったものの、いわば舗装したような状態の堤防で、これが途中までそのシートを垂らしたもので、これは法尻までシートを垂らしたものです。

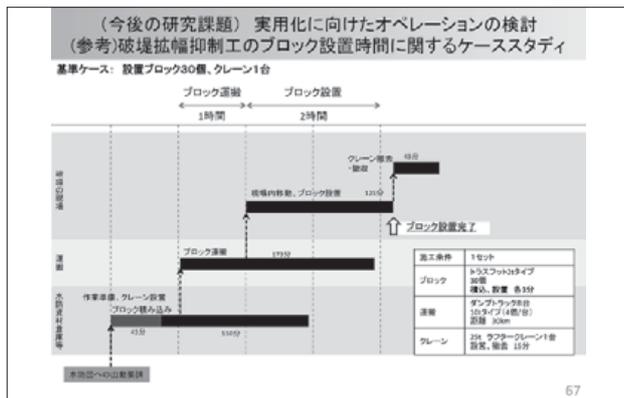
以上の4ケースの状態でも越流が始まるとどうなるか、という実験です。土羽の堤防のケースはもうあっという間に壊れてしまいます。天端を保護しているケースでは、結局は法尻とか法面への侵食は避けられないので、どうしても堤防の中に侵食が進行して、やはりほどなく壊れてしまう。途中までである場合にはかなり頑張りますが、やはり内部のほうに進行して行って壊れてしまいます。それで法面まで覆ってしまうと、もちろん水もしみ込んでいるのですが、結局最後まで保ち、堤防は壊れませんでした。

簡単な実験で、これで何かが分かるというわけではないですが、少なくともシートで覆うだけでも越流時の堤防をある程度頑張らせる機能というのは相当あるのだらうと思います。ですので、ここから先は例えば水防技術的に何かシートみたいなもので法面を保護する、そういう水防技術の開発ができないかなということ今考えているところでござい

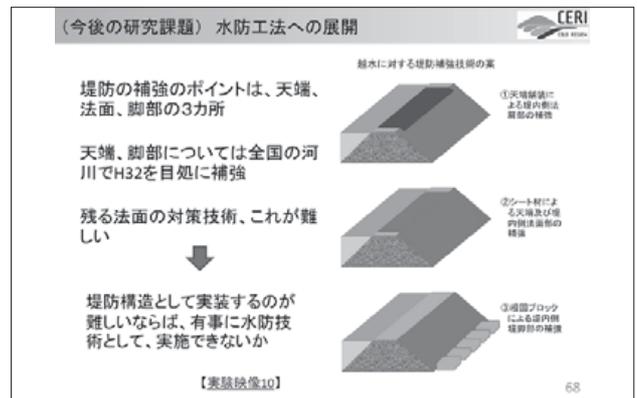
● スライド64



● スライド65



● スライド66



ます。

これで一通りの説明を終わらせていただきます。
ありがとうございました。

<質疑応答>

質問者1 今回、本当に貴重なご講演と、あとは貴重な実験の映像等を見せていただき、ありがとうございました。やはり実験とかをしようとすると、こういう大きなスケールのものはものすごくお金がかかったりして大変だと思います。その時にシミュレーションと違って、どうしてもケースを絞らなければいけないというようなところで、ものすごくご苦労されたのではないかと思います。

例えばご発表の中で、つくばで千代田の1/20のスケールの実験施設を使って、その結果を見てケースを選定したという話もございましたが、実際にどのような点に配慮や苦労をされながら実験ケースを選定していったのか。もしくは実験の流量を決定していったのか、そのあたりについても今日のご発表内容の中で共有できるものがあればお伝えいただければと思います。

船木 はい、今回の千代田の実験をするためのいろいろな体制というのがあって、もちろん我々研究所だけでやっているわけではございませんし、フィールドは開発局さんの方である程度実験装置の整備というのはしていただいていますので、実験ケースというのは一緒に相談しながらやっています。

加えて、千代田の実験は、実験検討委員会が、それからさらにその上にはアドバイザー委員会とあって、外部の学識経験者に意見をいただく場がありまして、そこで次年度の実験ケース等をご審議いただきながら、例えばこういう条件にしたらいいのではないかとか、そういうようなアドバイスを受けて、そこで決定したものを次の年にやっていくと、そういう形で転がしていています。最終的に千代田でやるのは1ケースか2ケースですが、その中のうち筑波で複数ケースをやって、そこで絞り込んだもので検討会にも諮りますし、そこで最終的に来年度は



どういことをやるというプロセスを踏んでやっていますので、いろいろな方のアドバイスをいただきながらやれているということです。

質問者1 どうもありがとうございます。やっぱりこの実験をしようとすると多くの方々の、特に学識の先生方のご意見、ご指導をいただきながらやられているということで、非常にご苦労されているということですね。どうもありがとうございます。

質問者2 破堤ということで、なかなか得られない現象に対して実験を実物大、それから模型実験でやっているのは非常に興味深いと思います。それでちょっと質問ですが、スライド61に、「水理模型実験による荒締め切り工実験」の「実験結果のポイント」という表がありますが、この1/20の模型でやって、たぶんハイドロにもよるとは思いますが、実験的には何かハイドロを決めてやらざるを得ないというところがあるかと思います。

それで、このポイントの評価のところ、最後の氾濫流量低減率というのを出していますが、これはそれぞれケース1～3で所要時間が変わってきていますが、こういったことを加味して、この氾濫流量の低減率をどのように計算しているのかまず教えてくださいたいと思います。

船木 まず、この実験はハイドロを与えないで、流量を一定とする非常にシンプルな形でやっています。それでピーク時の流量というのは実験水路と、溢れた後の流末の両方で流量を計測して、それでどのぐらいの流量がこぼれているかを測ります。です



から、ピーク氾濫流量というのは溢れたほうのエリアの流末で流量を測っているということです。

それで低減率というのは、これはもう最終的に流量がここまでしか止まらなかったということで、これに対するこの率ですね。ですから、溢れた総量のボリュームでの率ではないので、時間の経過による効果というのは入っていません。ですから、本来であれば最終的に氾濫するのは時間を掛けた総ボリュームでやる必要があると思いますが、今回はあくまでも氾濫量をどのぐらいまで流量として減らせたかというところでのみ評価しています。

質問者2 そうすると、流量的にはケース1では氾濫量をピークに対して3割減らすことができた。しかし7割は流れてしまったということですね。

船木 はい、そうです。

質問者2 ケース3だともうちょっと少なく、85%は流れてしまったということですか。今のお答えの中にもありましたが、ケースは非常に難しいのですが、この締め切り工の評価をするのであれば時間概念とボリューム概念で評価したほうが、現地対策としてどれが有効かということにも近づくのではないかなと感じました。

船木 ありがとうございます。やはりどういうタイミングで、どのぐらいのところを狙えば効果的なのかということ、氾濫した後の災害をどれだけ減らせるかということに直結してきますので、そこがポイントだと思います。

質問者2 破堤した場合に、すぐに氾濫流を止めたいという気持ち、周りの皆さんがそういう風に言うのも分かりますが、実際に対応するのは災害協定業者や水防団の方なわけです。その時に二次災害が発生しないような流速になった状態とか、流量があったら当然ハイドロで低減してきますので、安全に施工するためにどのぐらいの状態になれば実際に緊急復旧に着手できるのかというのもひとつの目安としてあれば、現場は非常に助かるなというのが1つ目です。

2つ目として、昔は氾濫流に行かないように上流側にピストン水制工じゃないですが、水制工みたいに荒締め切りを作って、なるべく氾濫が多くならないように、流向を元の川に戻そうというような対策をとっていた事例も確かあると思いますが、そういう方式のほうがより安全に作業をしているし、周りに対しても問題なく対応しているな、一生懸命にやっている、というところも見せることができるなと思ひまして、下流からやるというのは分かりますが、かなり負荷のかかる作業になるので安全面がちょっと心配だなというのがありまして、その辺を今後検討していろいろ事例を紹介していただけるとありがたいと思いました。

船木 まさにそうです。いろいろな方、例えば現場の所長さんから、「実験では分かるけど、業者に『行け』とは、とても言えない。ですから、どういう状態なら安全に作業ができるのか、例えば堤防の重機が入れるような耐力がどのぐらいあるのかを見て、例えばそれを判定するような方法はないのですか」という問いかけをもらったことがあります。そうすると堤防の土質的な問題等もあるので、おそらくそれはまた別の意味でしっかり評価できる技術というのが必要だろうなと思っています。そういうものをこの研究の中でどれだけ幅広にできるかどうか分かりませんが、問題意識としては持ってやっていきたいと思っています。

(了)

平成28年度
第3回 河川研究セミナー

河川堤防の液状化対策

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

開催日：平成28年8月5日（金）

場 所：AP秋葉原

河川堤防の液状化対策

(国研) 土木研究所 地質・地盤研究グループ 土質・振動チーム
上席研究員 佐々木哲也氏

佐々木 土木研究所の佐々木でございます。本日はお忙しいところ、たくさんの方に集まっていただきましてありがとうございます。

第3回の今日は河川堤防の液状化対策について講演依頼がありましたので、このようなタイトルで紹介したいと思います。

河川堤防の耐震関係の基準ですが、今年の3月に「河川構造物の耐震性能照査指針」の改定が行われています。堤防の液状化対策については、これまで土研で出していた「河川堤防の液状化対策設計施工マニュアル」というのがあります。これは平成9年にできていて、もう20年近く経っているもので、今まで実務の方で使っていたところですが、このマニュアルも指針の改訂と合わせて、名称も変わっていますが、今年4月に改訂させていただきます。

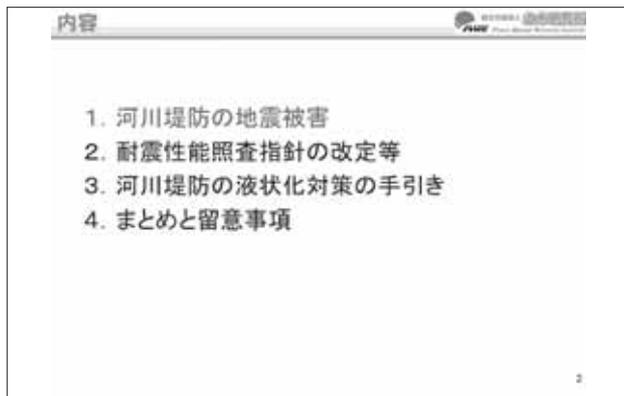
それで今日はそれらの背景と、国の指針の内容、土研のマニュアルの改訂の背景と、実際にどう変わったかということ、あとは適用するに当たって注意していただきたいことについてご紹介させていただきます。



最初に過去の地震被害の総括、2つ目に国の基準である「河川構造物の耐震性能照査指針」、3つ目に名称は変わっていますが、土研で出しているマニュアルの「河川堤防の液状化対策の手引き」の内容をご紹介したいと思います。(スライド1)

実は私は昨年も「地震と浸透対策」というお話をさせていただいております。内容を見直しをしてみたら、今日のお話とかなり中身が重複していましたが、今回も一からお話したいと思いますので、去年出ていた方には「同じじゃないか」ということも一部あるかもしれませんが、そこはご了承くださいればと思います。

● スライド1



● スライド2



では最初に堤防の地震被害の概要ということで、これまでの地震被害についてご紹介したいと思います。かなり基礎的な話になってしまうかもしれませんが。(スライド2)

記録が残っている中でも、近代では関東地震以後、堤防はこのように地震のたびに被害を受けてきます。関東地震にはこんな写真も残っています。やはり大きな地震のたびに何かしら被害を受けているということです。

いろいろ調べると、堤防の被災の原因は液状化ということになっています。あまり橋や建物のように、地震動の揺れによる慣性力で壊れるということとはほとんどなく、大規模な被害にはほとんど液状化が絡んでいるということです。それで今年4月にあった熊本の地震でも、このような大規模な被害というのはほとんど起きていないのですが、天端にクラックが入る程度の被害というのは起きています。まだ地盤で調査中ということで、委員会の方には地盤調査の結果等は出ていませんが、それもやはり液状化が原因だろうと言われていています。堤防の被害と液状化というのがかなり密接に関連しているということです。

液状化の被害には幾つかパターンがあります。これが1995年の兵庫県南部地震の時の淀川の左岸です。(スライド3) 河川堤防というのは、この阪神・淡路大震災までは地震の対策というのは考えていません。基本的には土で造られ、修復しやすいというメリットがあり、壊れたら直すというのが基本的な

考え方でした。

ここは大阪の真ん中を通っている淀川左岸のゼロメートル地帯で、万一これが決壊したらとんでもないことになっていたという箇所です。かなり大きく沈下しており、堤防を土で造っていて壊れたときに直しやすいといっても、こういうゼロメートル地帯で地震の被害を受けて、万一越水してしまうと大被害につながるということで、この兵庫県南部地震以降、堤防についても耐震点検や耐震対策というのが行われるようになりました。

地震による液状化被害というのは、幾つかパターンがあって、淀川の場合には下にあった砂層が液状化して上にある堤防が崩れたと考えられています。

2つ目ですが、これは他のパターンです。(スライド4) これは1993年の釧路沖地震の釧路川と、2003年の宮城県北部地震の鳴瀬川です。液状化というのは砂であること、ゆるいこと、水で飽和しているという3つの条件があります。地震による堤防の液状化被害は、基本的には基礎地盤の液状化であるということで先ほど淀川の事例を紹介したのですが、そうじゃないところでもこのような被害が起きております。例えばこの釧路沖地震だと、あの辺は湿地で泥炭という有機質の地盤の上に築堤されているということで、非常に圧密沈下が激しいところ。そこに砂で堤防を造っているのですが、基礎地盤が液状化したのではなくて、泥炭地盤に圧密沈下してめり込んだ砂の堤体自体が液状化してこういう被害が起きています。

● スライド3



● スライド4



それで、こちらの鳴瀬川も同じで、これは東日本大震災の時じゃなくて、それ以前の2003年の宮城県北部地震時に起きているのですが、こういう軟弱地盤が卓越しているようなところでもこのような堤防の被害が起きている。これは堤体自体が液状化したのではないかとされておりまして。

これが東日本大震災の時です。(スライド5)これは阿武隈川の枝野というところなんです。ここでは2m以上の堤防の沈下が起きています。これは震災後のボーリングデータから描いた断面図です。(スライド6)ここの基礎地盤はAc層で、基本的には液状化しないような層になっています。この中に堤防がめり込んでいますが、ここは恐らく地震で沈下したわけではありません。これは軟弱地盤上に築堤され、粘土層の圧密により沈下したということです。この特徴はもともと旧堤があって、そこに砂で腹付けかさ上げをした。それで、先ほどの写真とは左右の向きが逆なのですが、砂で腹付けた川裏側だけが崩れています。こちらの旧堤のほうは特にほとんど変状は起きていません。地震後の調査では、地下水が堤体の中に入っている。先ほどの釧路の例と同じように、築堤して、圧密沈下し、そうすると堤体下部に水が溜まってしまう、地下水が堤体の中に入ってしまう。そうすると、堤体下部に砂の飽和したゆるい層ができてしまって、ここが液状化するということが起きています。

下は縦断方向に細かく調査した断面図です。調査は堤防の中央付近でやっているのですが、特に変状

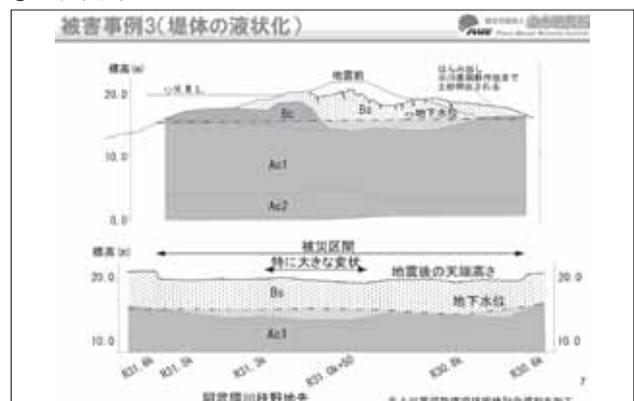
が大きかった先ほどの写真のようなところは圧密沈下が大きくて、堤体内に地下水があって、その端の変状の小さい区間に行くと堤体内に水位が見られないということで、堤体の中の水と堤体の土質が砂であるということが、こういう堤体自体の液状化の被害を起しているということが分かります。

こちらと同じく東日本大震災の時の鳴瀬川の事例です。(スライド7)ここも、裏法尻が盛り上がり、天端がこのような崩れて段差ができていたりします。それでここの断面図を引いてみるとこんな感じでした。これを見ると下にゆるい砂層があって、全体的に沈下していますが、どちらかと言うと、旧堤(Bc)に全体的に砂で嵩上げをしていた川裏側が大きく崩壊しています。ただ、川表側にもクラック等が入っています。恐らく下の液状化が影響しつつ、かつ先ほどの阿武隈川の事例と同じように砂で嵩上げた部分がかかなり大きく変形しているということで、これは恐らく基礎地盤の液状化を堤体液状化の両方の複合だということです。どちらかと言うと堤

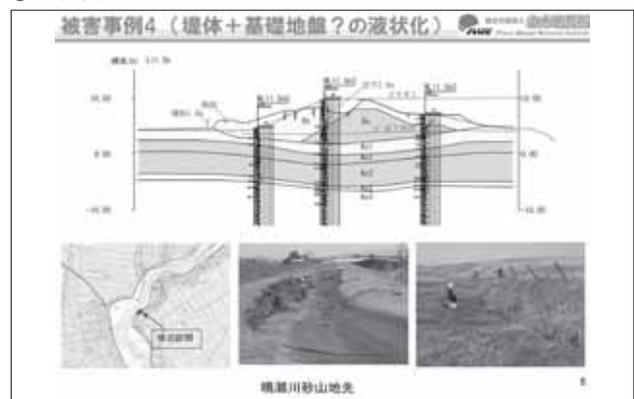
● スライド5



● スライド6



● スライド7



体の影響のほうが大きいという感じではありますが、こういうパターンも見られます。

これも東日本大震災の時のもので、那珂川の事例です。(スライド8) これは基礎地盤の液状化ということで、天端にはクラックが入っており、裏法尻のところには噴砂が見られます。下に「Bs」と書いてあります。これは旧河道を人工的に埋めたところだと思いますが、こういうところの液状化が恐らく沈下やクラックの原因ではないかということです。これは被災後のGoogle Earth画像です。(スライド9) これを見ると、被災区間周辺の畑に衛星写真でも分かるような噴砂痕が広がっていて、恐らくこの辺が旧河道だったのではないかと思います。恐らく人工的に埋めた基礎地盤の液状化によって被害が起きているという事例です。

それで、これまでの事例をまとめてみますと、パターンとしては大きく分けると2つ。(スライド10) 基礎地盤が砂で、そこに盛土して、築堤して、基礎地盤が液状化して沈下するパターン。もう1つは、

基礎地盤が粘性土で、それ自体は液状化しないのですが、その上に砂で築堤して、例えば圧密沈下等によって堤体が沈下し、中に水が溜まって液状化するパターン。それで先ほどの両方が複合化していくパターンもあるということです。

それで、先ほど兵庫県南部地震以降、耐震の点検とか対策が行われていると説明しましたが、その時には淀川の事例のパターンを対象にしています。堤体自体が液状化するというのはあまり考えられていませんでした。ですが、東日本大震災以降、やはり堤体の部分液状化による被害というのが非常に多く発生し、東日本大震災の1年後の指針の改定では堤体液状化に対する診断とか対策というのが盛り込まれました。

液状化により堤防がどのようにして壊れるかというのを動画で見ただけであればと思います。(スライド11) これは小さい模型で実物大クラスの現象を再現できる遠心力载荷装置を用いた実験ですが、その動画をお見せします。

● スライド8



● スライド10



● スライド9



● スライド11

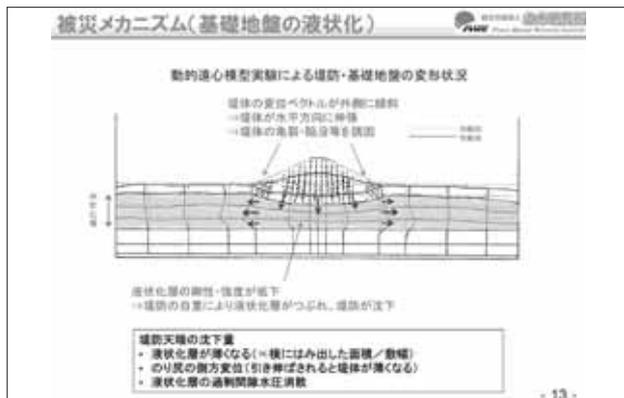


これは堤防断面です。ここの黒いところはゆるい砂になっています。加振中に何となく地下水位低下の基礎地盤がタブタブしているのと、堤体が沈下して、基礎地盤が横に広がっているのが分かるかと思えます。これは実験後のスケッチです。(スライド12) 先ほどの黒いところはゆるい砂、飽和した砂で作っておりまして、それで地震で揺れるとこの部分、揺れた時にグニャグニャになっていたと思えますが、液状化して強度を失う。そうすると重い堤防が沈下します。それに伴って、メッシュが横に広がっていたかと思えますが、液状化した層が側方に流動して沈下するという事です。それと堤防の法尻自体が横に広がって、堤防自体も潰れるという事です。それで最後には、液状化すると水が抜けるのですが、それによって液状化層の体積圧縮が起きて、さらに地震後に沈下していく。以上のメカニズムで基礎地盤の液状化による沈下が発生するというものです。

次が堤体の液状化の実験です。(スライド13) これは先ほどのとは違い、この白い部分は基礎地盤で白い粘土で作っています。なので、基礎地盤は液状化しません。ここに堤体が圧密沈下でめり込んでいる、先ほどの被災事例にあったようなものを再現しています。これは砂っぽいもので築堤していて、少し分りにくいのですが、堤体下部に水が入っています。堤体の中に雨水とかが溜まったところを再現している状況です。

それで、これを揺ります。堤体下部が液状化し

● スライド12



て、天端にクラックが入ったのが分かるかと思えますが、全体に法尻がはらんでいるのが分かりますか。堤体下部がタブタブになって、クラックが広がったのが分かるかと思えます。先ほどの被災事例でも天端が陥没したり、クラックが起きたり、法尻がはらんだりということで、基礎地盤が液状化しなくても、圧密沈下した堤体下部が液状化することで、こういう堤防の被害が起きるということを再現したということです。

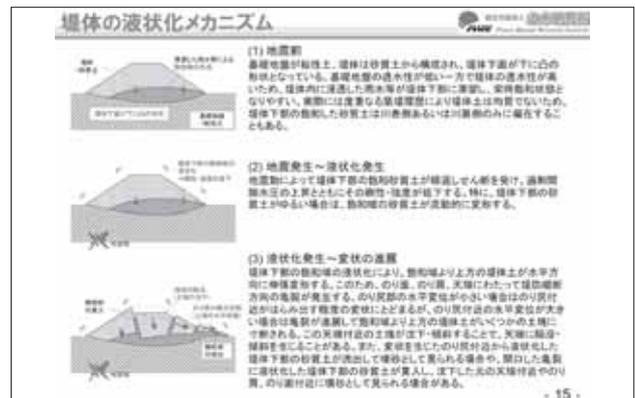
どうしてこのようなことが起きるのかということを書いておきます。(スライド14) 軟弱地盤上に築堤すると、一般的には圧密沈下で堤防が基礎地盤めり込みます。天端の下がもっとも沈下します。そして雨が降ると、基礎地盤は粘性土で透水性が低く、軟弱地盤だと一般的には水位も高いので、沈下した部分等に水が溜まって、堤体下部に飽和した砂の領域ができてしまい、そこに地震が来ると、液状化して崩れるということです。

特に、圧密沈下する時に、単に沈下するだけでな

● スライド13



● スライド14



くて、即時的な変形で法尻が横に動こうとします。そうすると堤防の中がゆるむという現象も起きています。そうすると、基本的には液状化というのはゆるい砂地盤で、飽和している、ということなので、沈下することによって堤体下部がゆるんで、さらに液状化しやすくなるような状況を作ってしまう、そこに地震が来て液状化するということです。

その他の堤体の液状化の幾つかの素因のパターンをご紹介します。(スライド15) その1は今の圧密沈下のものです。築堤して、圧密沈下して、沈下しためり込み領域でゆるみが生じて、ゆるい飽和した砂の層ができて、液状化する、というものです。

その2で、これを堤体液状化と言うか、基礎地盤の液状化と言うかは微妙なところですが、よくあるのが旧河道を締め切って人工的に盛土し、そのまま埋めてしまうパターンです。これもかつて河道や湖だったところを埋めて、築堤して、埋めた箇所に飽和砂層ができて、地震で壊れるというパターン。

その3が、そもそも河川水が堤内地盤よりも高いパターンです。天井川やゼロメートル地帯ですね。このようなところだと常に河川側から浸透水が流れて堤防の中に入っているということで、干拓地とではこのパターンでやられるというような傾向があります。

では実際に堤体の液状化はどういう箇所で起きていたかということで、これは東日本大震災の事例を分析したものです。(スライド16) これは大規模に崩壊した箇所の築堤材料、特に崩壊に寄与したと思わ

れる材料を取ってきて、横軸が細粒分含有率、縦軸が塑性指数で整理しました。一般的には細粒分が多いほど液状化しにくいということです。それと土の塑性指数が高いと粘土っぽいと、基本的には粘土は、液状化しないのですが、塑性指数が高いと粘土っぽいし、塑性指数が低いと、今は0と書いてありますが、NP、つまり砂っぽい材料だということです。ほとんどのプロットは塑性指数がNPであるもの、ノンプラティックなものがほとんどで、多少塑性指数があってもおおむねこの辺りに位置するということになっています。

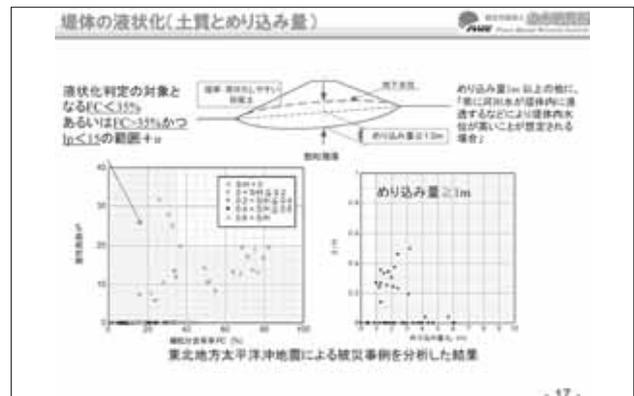
グラフ中の薄く網掛けをした箇所は、一般的に液状化判定の対象になる「 $FC < 35\%$ 、あるいは $FC > 35\%$ 以下かつ $I_p < 15$ 」の範囲です。ですから、ほとんどのケースはいわゆる液状化判定の対象になる、つまり液状化するような材料で築堤されている箇所では被害が起きていました。

実は、これは少し古いデータでして、この15と35を超えるようなものが幾つかありますが、これは液状化判定の対象外の土ですね。それで当時、震災直後に何とか堤体の液状化に対する判定法をつくらなければいけないということで、事例をプロットして、この範囲が堤体の液状化の範囲だということを出しました。それで後々、本復旧の時に開削していろいろ調べると、この辺の材料以外にもっと砂っぽい材料がそこに含まれていたりして、そういうのを見直すとやっぱり、液状化判定の対象になるような材料で築堤されたところでほとんど堤体の液状化の被害

● スライド15



● スライド16



が起きているということになっています。

それと、先ほどの「軟弱地盤中にめり込んでいる」ということについてですが、そのめり込み量が大体どの程度だったのかというのが右のグラフです。これは縦軸が沈下率です。元の堤防高と、沈下した後の堤防高の比率で、これが大きいほど沈下が大きかったということです。それで縦軸がめり込み量です。やはり被災箇所では圧密沈下等によって1m以上はめり込んでいるようなところで起きていることが分かっています。

それで次は堤体内の水位です。(スライド17) 堤体と基礎地盤の境界と、堤体の中の水位がどの程度だと被害が起きたかということで、これを「飽和層厚」という言い方をしておりますが、これが1m以上あると何らかの被害が出てきているということと、堤防の高さと水位の高さの比、堤防の厚さの2割程度の高さに水位があると壊れているということです。

やはり築堤材料が砂等の液状化するような材料で、かつ堤体の中にある程度の水位があるところで被害が起きている、ということが分かっています。それで東日本大震災の後、堤体の液状化に対する判定法を作らなければいけなかったのですが、平成24年の改定の時には、これらのデータを根拠に堤体材料と堤体内水位によって堤体液状化による大被害の発生の有無を判定するという方法に反映しています。

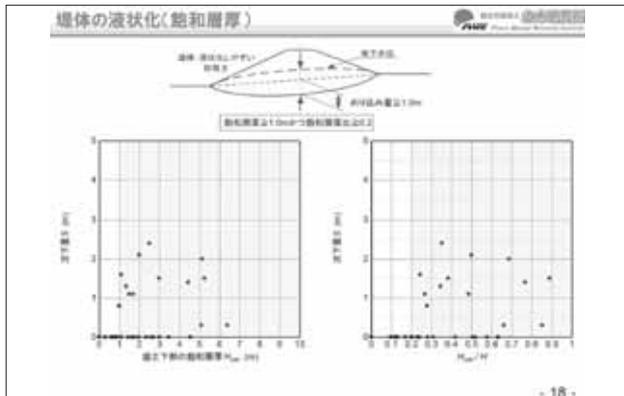
それと、液状化が被害の原因だということですが、堤防は非常に延長が長いですが、では実際にどうい

うところで起きているのかということで整理したものです。(スライド18) これは東日本大震災の際の鳴瀬川、利根川の下流地域のデータです。これは治水地形分類図での微地形区分で分類しています。そうすると、鳴瀬川ですと自然堤防に分類されることや、氾濫平野や、砂丘等が多くなっています。利根川ですと旧河道や、自然堤防が多いところです。一般的には液状化しやすいところというのは旧河道等が多いのですが、鳴瀬川ですと自然堤防、自然堤防も基礎地盤が液状化したりしますが、そういうところが多い。逆に氾濫平野というのは粘性土っぽいところが多く、これはどちらかと言うと堤体の液状化が多いのかなという傾向です。利根川ですと旧来から言われている旧河道・旧落掘等のところで被害が多く、基礎地盤の液状化が関連したような被害が多かったのではないかと考えています。

それで鳴瀬川はなぜ旧河道が少ないのかと、よく分からないところもありますが、過去に何回も実は被害を受けていて、昔の宮城県沖地震の事例を見ると旧河道でかなりやられていたということもあって、そういうところは復旧等で強くなっているという影響もあるのかもしれない。

これは検討対象の河川も増やして、東北の鳴瀬川、吉田川、江合川について、被災率という形で分析しております。(スライド19) 微地形ごとの被災率で見ますと、全体的に干拓地での被害が多い。また精査し直したりしているので先ほどと分類が違いますが、干拓地ということで軟弱なところとか、湿地と

● スライド17



● スライド18



か、締め切ったりしているところが多いのですが、そういうところで被害が多いということと、あとは自然堤防、氾濫平野、こういうところでも被害が起きやすいということが分かっております。

次は地震動ごとの被災率です。(スライド20)これはご参考までにとということになると思いますが、先ほどの事例を3つの観点で整理してみました。上はPGA、地表面の最大加速度です。観測点がばらけていますので、それを国総研さんが地形条件などを踏まえて間を補完して、最大加速度の分布等の推計値を出していますが、それを使っています。

真ん中がSI値です。時限は速度で、0.1秒から2.5秒の平均的な速度応答スペクトルだと思っていただければ結構です。下は気象庁の震度です。

これで見ると、最大加速度と被害の相関はあまり高くありません。というのは、加速度は観測地が地盤のいいところだと値が高くなる傾向があるためです。ですから、あまり最大加速度と相関はよくない。逆に値の低い、軟弱地盤等だと上に揺れが伝わらな

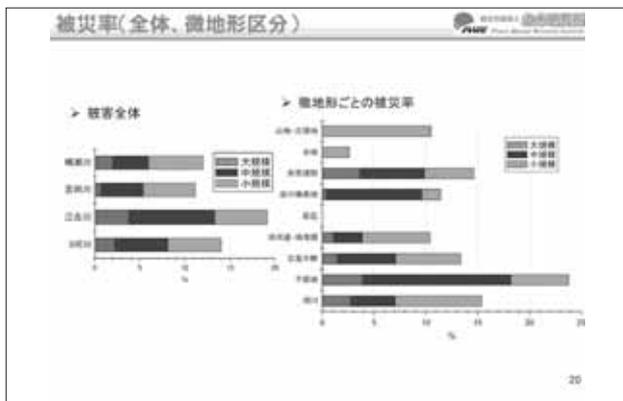
かったり、長周期化して最大加速度自体は下がりますが、そうすると逆の傾向になっていくということです。SI値については、SI値が高いほど被害が大きいうことで、よく被害想定等でSI値を使いますが、やはり実際に概略的な被害の傾向を見るにはSI値の方が相関は高いということです。震度については、そんなに相関は悪くはありません。物理的な意味はよく分からないところがありますが、震度が大きいほどやられやすいというような傾向があるということです。以上は過去の地震でどうだったかということで、今までのおさらいの話です。

次に国の基準である「河川構造物の耐震性能照査指針」の改定ということで、その背景等も含めて簡単にご紹介させていただきたいと思います。

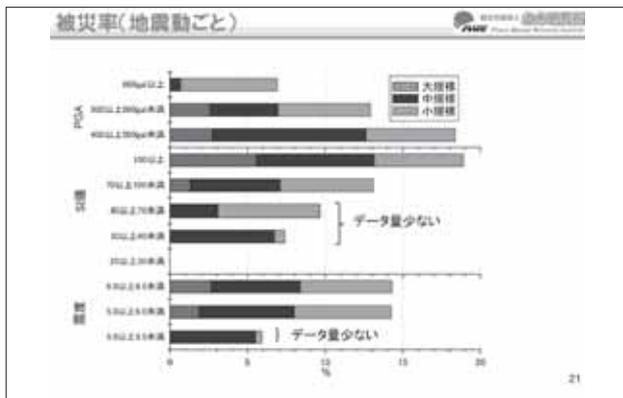
前段でもお話しましたが、堤防に関する耐震性能照査や、対策工に係る基準の変遷を一覧でまとめております。(スライド21)先ほども阪神・淡路大震災の事例がきっかけですという話をしたのですが、最初に堤防の耐震点検に関するマニュアル等ができたのが平成9年でした。これは兵庫県南部地震、淀川の被害を受けて、やはり堤防についても耐震性が必要であろうということで設定されています。

後ほど詳しく話をしますが、その時の照査の基準としては、基本的には「堤防が沈下して河川水が越流しないこと」ということが求められました。地震の大きさとしては中規模地震動、今で言うところのレベル1地震ぐらいが想定されています。橋梁等が阪神・淡路大震災の後、いわゆるレベル2地震動を

● スライド19



● スライド20



● スライド21



考慮した設計になっていたのに対して、堤防については当時、レベル2に対して変形を照査するというような技術を一般的に使う技術としては確立できていなかったというところがありました。このため、旧来までの円弧すべりによる安定計算を中規模地震動に対してやる、ということでこのような評価法ができております。

対策工については、これは土研のマニュアルで、「河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル」というものを平成9年に出しています。これについても基本的には対策工の安定性を照査するというところで、地震動については中規模地震に対して対策工の安定であったり、円弧すべりの安全率を満足することを求めて対策が行われております。以後、これに基づいて地震の対策が進められてきたということです。

そうした中で、平成13年、2000年に入ったころから土木学会の方で「土木構造物の耐震設計ガイドライン」が、国交省の方でも「土木・建築にかかる設計の基本」が出され、基本的には地震に対してはレベル2を考えた設計体系にしていきましょうという流れがありました。こういったものを受けて河川堤防についても平成19年に「河川堤防の耐震性能照査指針」が出ています。これはそれまで中規模地震動に対して円弧すべりの安定計算で求めていたものを、「地震動についてはレベル2地震動を考えましょう。照査としては地盤の変形解析を実施して、天端高が河川水位を下回らないようにしましょう」という基準ができております。

対策については、これはレベル2に対応した対策工の設計をしなければならないということで、検討をしていましたが、ここで東日本大震災が起きてしまいました。

東日本大震災が起きると、先ほど述べたように、これまでこちらの平成9年のマニュアルも、平成19年の指針も、基礎地盤が液状化して堤防が壊れるということを想定していたのですが、既に紹介したように、東日本大震災で堤体自体が液状化してしまう

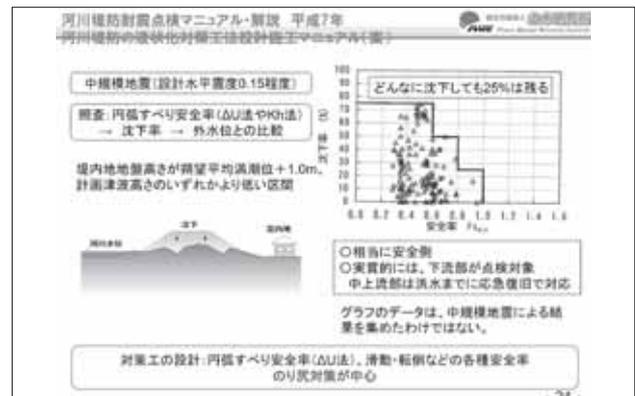
被害が起きまして、それに対する照査がなかったということで、平成24年に堤体の液状化に対する照査法というのを急遽作り、指針に反映されたということです。

それと対策工については、やはりレベル2地震動に対応していかなければいけなかったのですが、東日本大震災の時にはまだマニュアルを作っている途中で、間に合っていませんでした。それと、後で紹介しますが、東日本大震災では、既に対策されていたところではほとんど被害がなかったという実態もあって、対策については平成9年のマニュアルが踏襲されています。堤体液状化については後でご紹介しますが、急遽実験をやって、地下水位を低下させるとか、押え盛土をするとか、法尻にドレーン工を設置するとか、ほぼ仕様規定のものを作って当面の対策を示したという状況になっております。

ということで、まだ課題はありましたが、実務的には何とかしなければいけないということで、平成24年に急遽改定をしたということです。それから4年後、今年平成28年に指針の改定と対策の手引きという形で、レベル2地震に対応した指針対策マニュアルを整備したという状況になっております。

それで今、お話をした内容が詳しく書いてありますが、これは平成7年の時の基準です。(スライド22)それで設計地震動としては中規模地震相当、設計水平震度で言うと0.15で、照査は円弧すべり安全率です。ただ、この安全率で要求しているのは、河川水が越流しない、ということで、この安全率から

● スライド22



沈下量を読み替えていたということです。これは過去のいろいろな事例をプロットすると、円弧すべりの安全率と沈下率というのはこんなにバラつきますが、崩落するところで安全率がここなら沈下率はここだろうと、かなり安全側ですが、こういう評価をして点検したということです。基本的には中規模地震が想定されていたのですが、過去の事例のMAXを取っているため、安全側のものであったので、これで進めていったということです。それで対策工については、これも同様に、基本的には震度法と円弧すべりを基本とした対策マニュアルを作っていたということです。

次ですが、平成19年に、レベル2地震動に対応した指針として、耐震性能照査指針が出されました。(スライド23) これは「レベル2地震動を考えたということ、基本的には性能規定で河川水が越流しないことを求める」というものです。耐震性能としては「地震後における堤防の機能を確保」ということで、河川からの越流を防止しましょうということ。それで照査時の限界状態については「地震により変形、沈下が生じても堤防機能が保持できる範囲」ということで、基本的には堤防の沈下量を照査して、河川水が越流しないことを照査するというになっています。

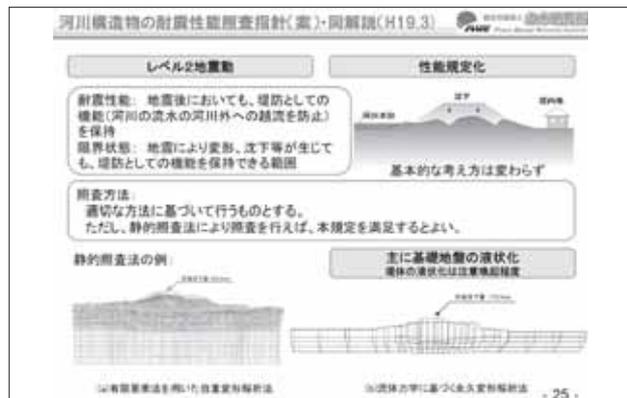
その中で、「最近、性能規定化になったので、照査法は何でもいいですよ」と言っていますが、実際にそれでは困ってしまうので、基本的には静的に、液状化の影響を考慮したような静的な変形解析によ

ればよいという形で指針ができています。ただ、これも主に基礎地盤の液状化を対象にしている、堤体の液状化というのは考慮されていませんでした。

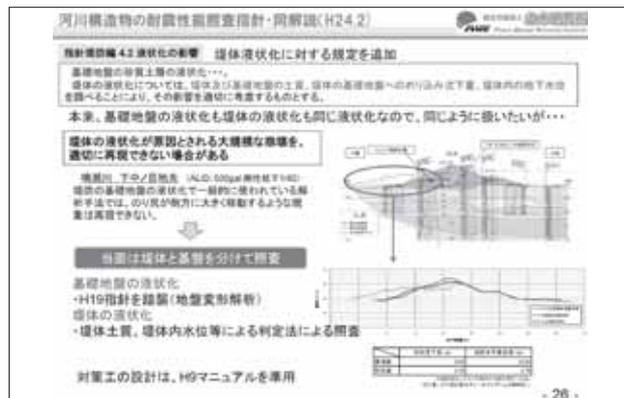
これが平成24年の改定です。(スライド24) 基本的には堤体液状化に対する規定を追加したということです。ただ、基礎地盤の液状化については、先ほどのように変形解析を使って照査していたのですが、様々な事例を対象に照査をしてみると、これは実際の鳴瀬川の被災事例ですが、これを対象に変形解析をやると、当時はなかなかこういった事例を再現できなかった。堤体液状化については、沈下量を過小評価するような傾向が出ていて、このような堤体液状化による大規模な崩壊というのは変形解析ではなかなか評価できなかったということがありましたので、先ほど事例の分析で紹介したように、堤体土質とか堤体内水位によって堤体液状化の大規模被害が起きる可能性があるのみを判定するような照査を入れて、平成24年の時の改定は行われたということです。対策工については平成9年のマニュアルが準用されたということです。

以上の経緯を経て今回、さらに指針が改定されました。(スライド25) これが全体の指針の体系になっていまして、左が平成24年2月の旧基準、そして右が新しい基準です。河川構造物の耐震関係の基準マニュアル類というのはかなりたくさんあります。それで一番上に来ているのが「河川構造物の耐震性能照査指針」ということで、堤防編、共通編、あとは自立式特殊堤編とか、堰・水門、揚排水機場等、こ

● スライド23



● スライド24



れら一連の基準からできております。

それでその下に「レベル2地震動に対する河川堤防の耐震点検マニュアル」とありますが、これにはこれ自体を運用するための概略の抽出とか、スクリーニングといったことが書いてあります。

対策については「河川堤防の耐震対策マニュアル（暫定版）」があり、基本的には、その下の「河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル」という土研のマニュアルを使えばよい、ということや、堤体の液状化対策についてはこうすればよい、というようなことが書かれた通知文のようなマニュアルでした。それと「計算例」というものがありました。

それで今回、指針の改定が行われているのですが、改定の対象となったものはこの内「堤防編」と「共通編」の一部です。これが「堤防編」として改定されています。その他、構造物系の特殊堤とか、堰、水門、揚排水機場については、当面は現行基準を適用ということになっています。

それと「レベル2地震動に対する河川堤防の耐震点検マニュアル」は「河川堤防の耐震点検マニュアル」となりました。これは国の方で作られておまして、基本的には点検フローが見直されたり、スクリーニング法が若干変わったりしています。それと暫定版だった堤体液状化対策用の「河川堤防の耐震対策マニュアル」ですが、これは土研の「河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル（案）」と統合されて「河川堤防の液状化対策の手引き」という対策マニュアルとして今回は新たに作られました。

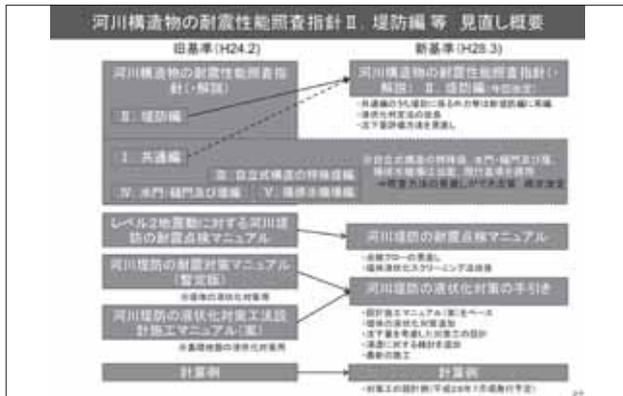


「計算例」なんですが、現状では7月ごろに発刊予定となっていますが、今月中には何とかということなんです。今日はこの指針と手引きを中心に話をさせていただきます。いただければと思っています。

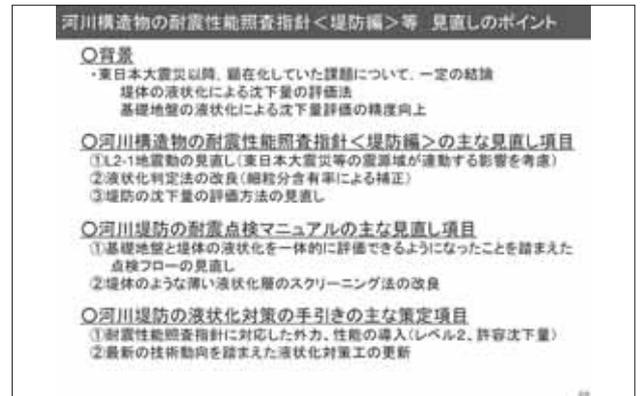
まず、指針の見直しの主なポイントですが、「東日本大震災以降、顕在化していた課題について一定の結論」ということですが、それ以前にとりあえずの改定したものをもう少し定量的に評価できるように改良しましたということです。

これらが具体的な指針見直しの主なポイントです。（スライド26）「①L 2- 1地震動の見直し」についてですが、プレート境界型と内陸直下型の2つのレベル2地震動のうち、レベル2- 1と呼んでいるプレート境界型の地震動について、これは基本的には道路橋示方書をそのまま持ってきていますが、道路橋示方書が平成24年の改定でこのレベル2- 1地震動に関して改定されているので、それに合わせる形で改定しています。その考え方は後で紹介しますが、東日本大震災等の震源域が連続するような、マ

● スライド25



● スライド26



グニチュード9クラスのかかなり大きな地震動を考慮したということです。

「②液状化判定法の改良」については、道路橋示方書をそのまま持ってきていたのですが、東日本大震災の事例を受けて液状化判定方法の見直しを行ったので、それを取り込んでいます。

それと「③堤防沈下量の評価法の見直し」ということで、変形解析で堤防の沈下量を評価しますが、そのやり方を見直しをしたということです。基本的には東日本大震災の事例に合うように改良したということです。

次に「河川堤防の耐震点検マニュアル」の見直しのポイントですが、これは基本的にはスクリーニング法が書いてあるようなものなのですが、これまで基礎地盤の液状化と堤体の液状化を別々に評価していましたが、「河川構造物の耐震性能照査指針」が、後で紹介しますが、基礎地盤の液状化と堤体の液状化を一体的にやってしまうということになっていますので、それを踏まえた改良というところです。

あとは「河川堤防の液状化対策の手引き」に関する見直しのポイントですが、これも今まで中規模地震に対して安定性を評価するというものだったのですが、指針に合わせて地震動はレベル2地震動を評価するということと、対策の効果についても安全率ではなく、堤防の沈下量で評価するようなものに見直しをしたというのがざっと大きな流れでございます。

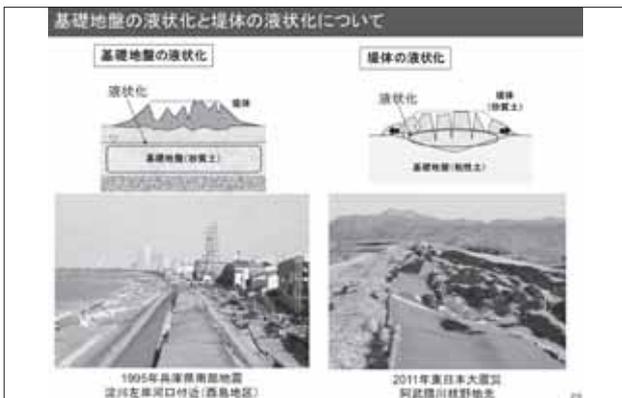
それで、今まで、基礎地盤が液状化したこの阪神・

淡路大震災の時の淀川の事例のようなものと、この堤体が液状化した東日本大震災の時の阿武隈川の事例のようなものをそれぞれ個別に評価していましたが、これを一体でやりましょうということで改定が行われています。(スライド27)平成24年の時になぜ一緒にしなかったのかということですが、先ほども言ったのですが、当時はなかなか堤体液状化を変形解析によってうまく評価することができませんでした。実際に東日本大震災の堤体液状化による被災事例をその当時の変形解析手法でやると、危険側に評価してしまうということが分かります。

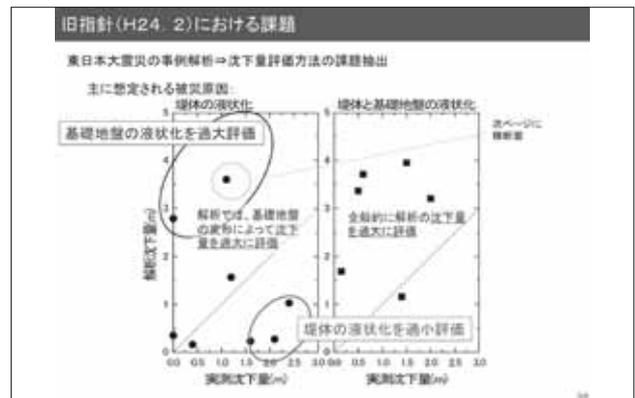
このグラフは東日本大震災等も含めた過去の被災事例について変形解析を適用した結果です。(スライド28)横軸は実際の沈下で、縦軸は計算上の沈下です。これは被害事例から恐らく堤体自体が液状化したらと見られるものについて解析したのですが、かなりばらついてます。評価が危険側にも安全側にもなっています。

これは実際には、堤体の液状化だけで起きたようなところについては過小評価されています。先ほども紹介したように、大規模な堤体自体の変形というのはなかなか表現できていなかったということですが、こちら側は逆に安全側に評価されています。解析の方が実際の沈下量よりも大きいというもの、これは実際には堤体自体の液状化でやられているのですが、その下の深いところの液状化層が液状化したり、変形することによる沈下を過大に表現してしまっているような事例ということで、要するに深い

● スライド27



● スライド28



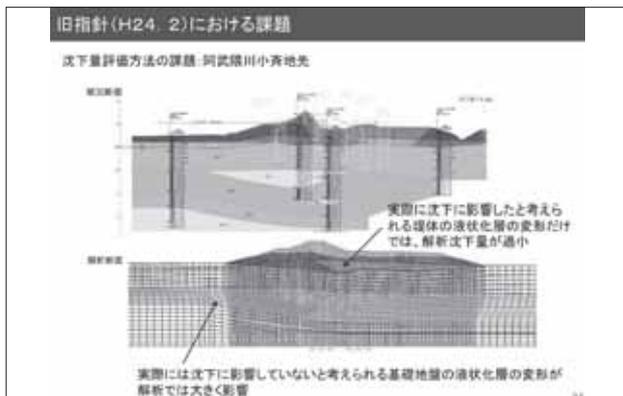
ところの液状化が大きく考慮され、堤体を含めた浅いところの液状化の影響は過小評価されていたために、なかなかうまくいかなかったということです。それと、基礎地盤の液状化があるようなものについてやると、全体的にかなり安全側に評価してしまっているということです。

これがその実際の東日本大震災の時の事例に対して変形解析を行ったものです。(スライド29) これはこの表層付近に軟弱な粘性土、その下に砂層や礫層があるような地盤です。それでここに旧堤があつて、砂で腹付けしたところが図のように崩壊した事例です。

実際にこれを変形解析するとどうなるかというのが下の図です。黄色い部分が液状化判定上は液状化してしまうという部分です。解析の変形図を見ると分かると思いますが、この深い層が液状化、変形して全体が沈下するという計算結果になってしまいます。しかし実際には周りほとんど沈下しておらず、崩壊はこの堤体の中の液状化が原因ということです。ただ計算上は実際の崩壊箇所はあまり動かず、そうではなくて深いところの液状化で変形が出て、かなり沈下してしまう。結果として、沈下を相当過大評価してしまっていたというような事例です。

ですから、今までのやり方ですと浅いところの液状化の影響はあまり大きく出ず、深いところの影響を過大評価してしまっているというような傾向があったということです。これを何とか改善したいということで、これまで検討を進めてきたということ

● スライド29



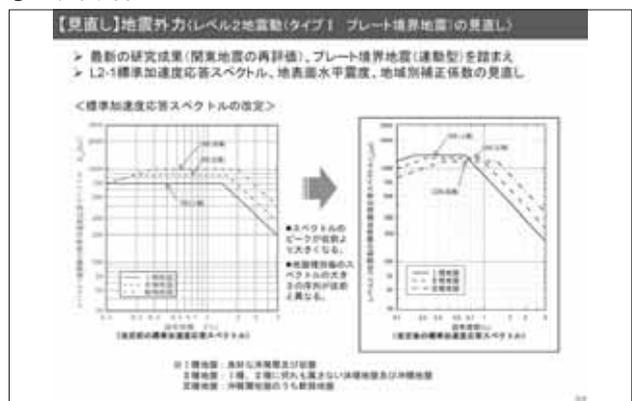
です。

これは今回の改定のポイントの内、「①L 2-1 地震動の見直し」の話です。加速度応答スペクトル、先ほどのレベル 2-1 地震動を改定していますというポイントです。(スライド30) 左が平成24年改定時のものです。これは平成14年の道路橋示方書をそのまま持ってきています。これが、レベル 2-1 地震動が連動するような東日本大震災とか、今後想定される南海トラフ地震等を想定して、右のような加速度応答スペクトルに変わっています。かなり大きくなっていますね。

それと地域別補正係数です。(スライド31) これまでは上図を使っていたのですが、これも道路橋示方書に合わせています。基本的にはこういう東海、南海トラフ沖等の地域についてレベル 2-1 地震動に対する地域別補正係数というのが大きくなっています。これも今回の改定で堤防の方に取り込まれています。

それと「②液状化判定の改良」というところでは

● スライド30



● スライド31

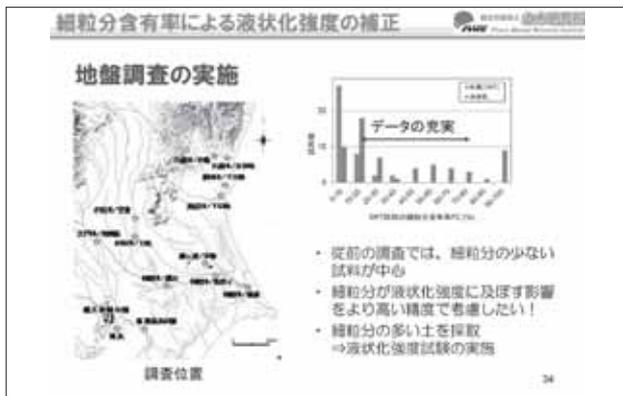


(スライド32) それで液状化判定法については、基本的には道路橋示方書の判定法をそのまま持ってきていました。それでここにデータ数というのがありますが、阪神・淡路大震災の時にレベル2地震動に対応した液状化判定ということで、道路橋示方書の大きな改定が行われています。というのは、このレベル2地震動の大きな地震動に対して、昔のやり方なら密な砂でも液状化してしまったのですが、その液状化強度を上げましょうということであるような検討が行われていました。その時に改良されていましたが、当時この細粒分含有率と試験の根拠にした材料を見ると、基本的には細粒分が少ないようなものを対象に分析して阪神・淡路大震災後の改定が行われていました。

比較的細粒分の多いところではあまり被災していないというのが東日本大震災で分かっておりまして、どうもこの辺の評価が安全側すぎるのではないかということで、特に関東近辺の堤防の箇所が多いのですが、そのように細粒分の多いような場所の液状化の強度はどの程度かを調べるため、そういった箇所の地盤調査を行いました。

それで、これは調査をした結果です。(スライド33) 左のグラフに「現行評価式」と書いてありますが、これは平成24年までのもので、現在の現行ではありません。ちなみに道路橋示方書はまだこのままです。堤防の方が先行して変えてしまいました。右のような液状化の強度に改められています。換算N値と液状化強度の関係、細粒分の含有率が変わる

● スライド32

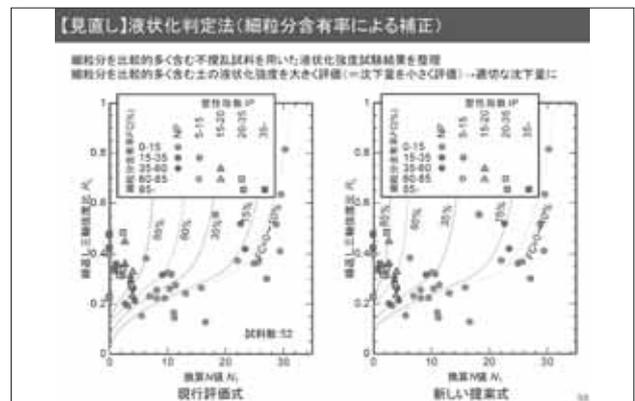


とその線が変わってくる。同じN 1 値だと、細粒分が高いほど液状強度が高いということになります。右の新しい方は、細粒分が多い場合はより液状化しなくなるようにシフトしています。いろいろなデータを増やして、特に細粒分が多いと液状化強度が高くなって液状化しにくくなるという傾向をさらに強めたということになっています。これはこういう事例とか、その他にもいろいろ東京湾あたりでの液状化の発生状況等を踏まえてキャリブレーションをしているのですが、こういう形で細粒分の影響がかなり効くようになってきています。

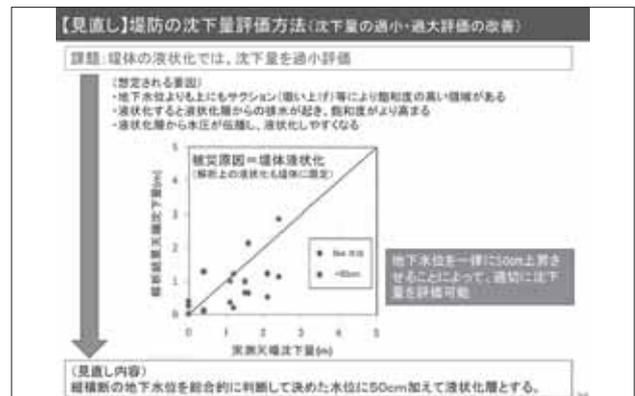
ですから、実際の適用に当たっては、細粒分含有率や粒度分析をちゃんとやらないと、以前よりもかなり敏感になっているので、液状化強度を見誤るという傾向になってきています。一般的には細粒分が高いほど液状化しにくくなるという傾向を強めたということです。

そして「③堤防の沈下量の評価方法の見直し」というところです。(スライド34) 堤体の液状化に対

● スライド33



● スライド34



して、先ほど変形解析が沈下量を過小評価するという傾向について述べました。それについてはいろいろ調べてみますと、そもそも、地下水位をどう設定するかということですが、地下水位はあくまで圧力0ですが、実際に飽和度が高い領域というのは、サクション、吸い上げているところがあるということが分かってきておりまして、それも液状化に対してかなり影響するということが、特に堤体液状化についてはその厚さがちょっと上がるだけでかなり影響するということが分かっています。

ですから、これは単に堤体内の地下水位を50cm上げる、つまりこういう地下水位以上の飽和領域を加味して変形解析をやるとかなり現実に合ってくるということが分かってきました。ですから、今まで設定していた水位より、飽和領域として50cmほど上に上げましょうという指針の見直しを行いました。

これは実際にパラスタをやった結果です。(スライド35) 堤体内の水位を20cm、50cm、1m上げるだけで、20cm程度しか沈下していなかったのが、例えば50cm上げると1m沈下する、さらに50cm上げると2m沈下するという、このようになりかなり敏感だということが分かっています。ですから、安全側にも考えて、堤体の液状化に対しては、堤体内の地下水位を、観測された水位より50cm上げるといことにしています。

ですから、これはかなり敏感なので、実際の適用に当たってはちゃんと調査しないとかなり見誤る。特に地下水位の設定は、既存ボーリング等で初期水

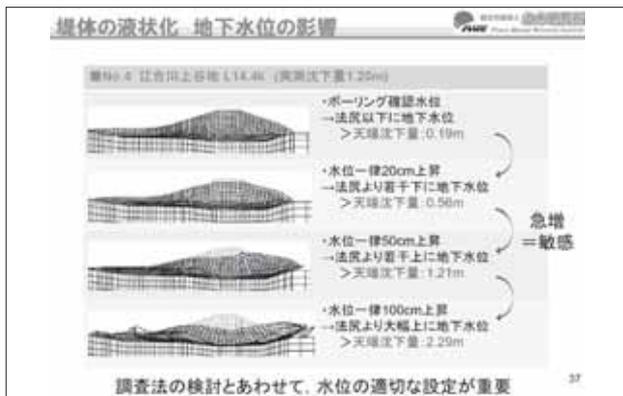
位が測られていなかったりすると、本当はかなり危ないのにセーフにしてしまったりというような傾向があります。特に堤体内の水位というのは、なかなか測るのが難しいと言うか、ボーリングの際、下に透水性の高い層があると、打ち抜いた瞬間に水位が下がってしまうとかそういうことがありますので、指針にはちゃんと書いてありますが、最初は無水掘りでやって、初期水位をちゃんと押さえて、そこで設定しなさいということが書いてあります。

ですから、照査法はなかなか現実に近づいてはきたのですが、先ほどの液状化判定でもそうですが、その粒度の違いの影響とか、こういう地下水位の影響というのはかなり敏感に反映するようになってきていますので、実際に今度の指針をちゃんと適用するとなると、地盤調査できっちりと現状を把握するというのが非常に重要になってくるかと思えます。

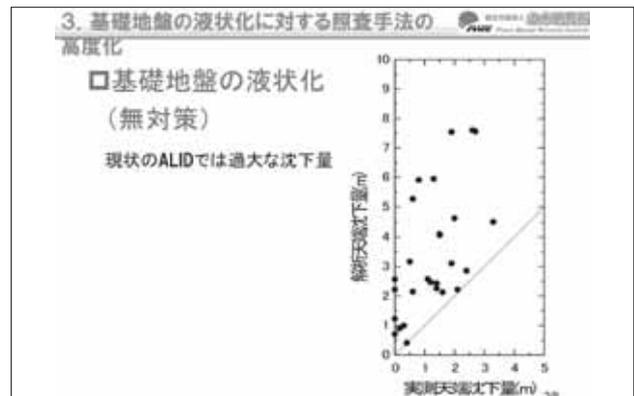
それと基礎地盤の沈下量の見直しについてですが、これも従来はかなり安全側でした。(スライド36) 基礎地盤の液状化に対する実測と計算上を比較すると、先ほどのような深い層の液状化はかなり行き過ぎだということです。東日本大震災の事例等を計算すると、その影響があつてかなり安全側に評価しているということが分かってきました。

ということで、あとで詳しく話をしますが、静的な変形解析では液状化の程度によって剛性を低下させるということをしてしていますが、深いところの液状化では、剛性をそこまで低下させないようにしましょう、ということを行っています。(スライド37)

● スライド35



● スライド36



具体的には、補正係数を入れておきまして、深くなるほど剛性が落ちない効果、特に、ある閾値より深いと、さらに落とさないようにする効果を入れていきます。具体的には土研の方の手引きに数値は入っていますが、このような深いところが変形しにくいという効果を入れていきます。

ちなみに、例えば道路橋示方書の杭の地盤反力等では、深いほど液状化のFL値、液状化の程度に応じては剛性の低下のさせ方、「土質定数の低減係数DE」といいますが、それも深いほど低下しないという効果が入っています。それもほとんど経験的な値なのですが、堤防についても同じような考えを入れてきたということです。それで、これによって深いところでは過大評価していた沈下量を、実測に近い形に持ってくるのができたということです。

それで、先ほどの液状化判定と地下水位の設定の見直し、深いところの剛性低下の補正係数、剛性低下しにくい効果の導入によって、これだけばらついていたものがこの位になりました。(スライド38)

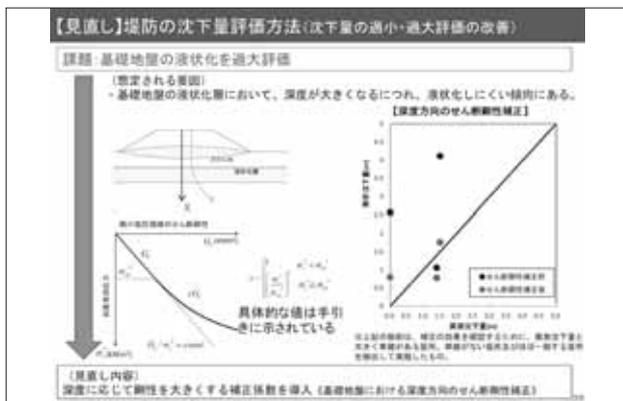
なかなか危険側を持ってくるのはあれなので、まだ安全側ではありますが、これだけばらけていたのが、かなり寄ってきて現実に近くなってきました。それでも場所によっては半分位違うところもあって、なかなか難しいですが、ここまでは合ってきたということです。

ということで、平成24年の指針まで基礎地盤と堤体を別々に評価していましたが、基本的には基礎地盤と堤体の影響を一体的に考慮してやる、基礎地盤と堤体は同じ方法で評価する。堤体の液状化についても基礎地盤と同様に、変形解析によって評価することが規定されたということです。(スライド39) 具体的には土研の「河川堤防の液状化対策の手引き」に書かれています。

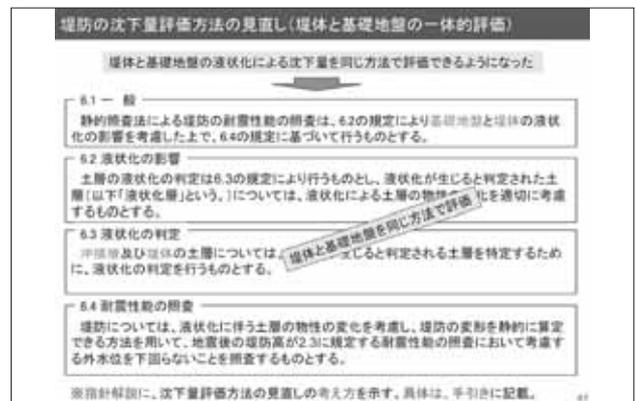
その「手引き」の話です。これは土研で出しておきまして、対策工がメインのものですが、先ほどの変形解析についても取り扱っています。(スライド40)

先ほど液状化しやすい条件についてお話しましたが、改めて書くと、ゆるい、砂、地下水位が高い、

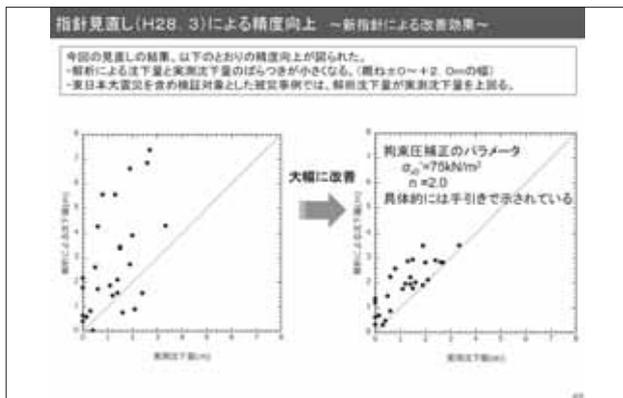
● スライド37



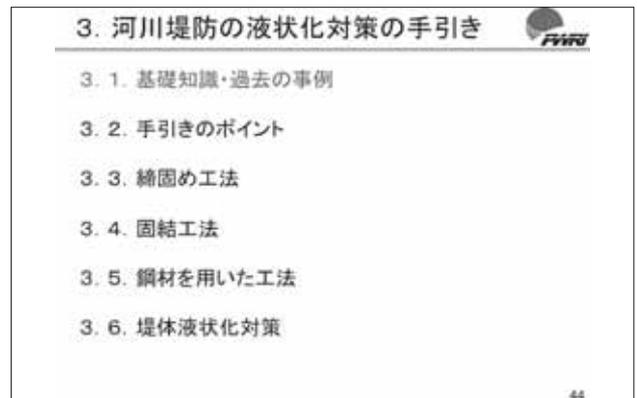
● スライド39



● スライド38



● スライド40



というところに地震が来ると液状化するという事
 ですから、基本的には液状化対策技術というのはこの
 逆をやりましょうというものです。(スライド41)
 ゆるければ密にするし、地下水位が高ければ低くす
 る、基本的には砂だということなので、では砂を固
 めて粘性土のようにする、そういうのが液状化対策
 になっています。いろいろな方法がありますが、よく
 使われているのが密度増大で、いわゆる締固めで
 す。あとは固結工法、セメント等を混ぜるもの。あ
 とは矢板で締切る。というような工法が堤防ではよく
 使われています。具体的には腹付け盛土、締固め、
 固化、ドレーン、矢板締切り、これらが堤防でよく
 使われているものです。これについて、東日本の実
 態ではどうだったのかというのを整理したのがこち
 らです。(スライド42)

昔の基準で「要対策」とされていた区間のうち
 22%程度しか当時対策が進んでいなかったのです
 が、その中で対策済みだった区間の被災状況と対策
 が進んでいなかった区間の被災状況です。対策した

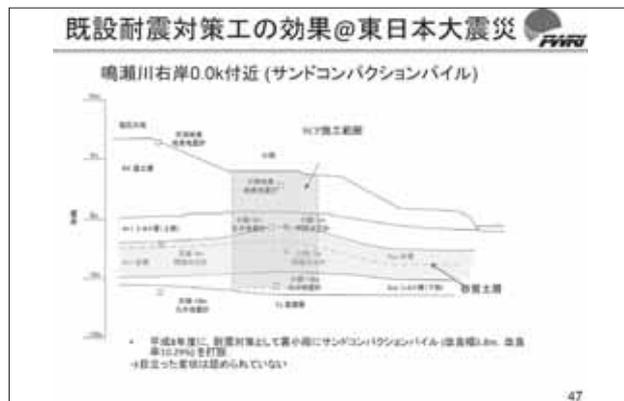
ところはほとんど無被害、あっても軽微なクラック
 程度の被害だったということです。一方レベル1で
 の要対策箇所、対策が済んでいなかった場所では
 半分位で何らかの被害があって、中には大規模被害
 もあったということです。対策した区間では明らか
 に被災の程度が下がっているということで、レベル
 1対策というのはかなり効果があったと考えられて
 います。

これが実際の事例で、鳴瀬川のちょうど河口付近
 です。(スライド43) 基礎地盤のところゆるい砂
 層があって、この範囲にサンドコンパクションパイ
 ルを施工したという現場です。ここでは、国総研さ
 んによる地震計や間隙水圧計の観測も行われていま
 す。これは実際の被害の状況です。(スライド44)
 これは天端が兼用道路になっていまして、ここは津
 波を被っていて、周りに瓦礫や侵食の跡がありますが、
 基本的に堤防の沈下というのはほとんどありま
 せんでした。法面の崩壊等も特に見られていません。
 これはその国総研さんのデータです。(スライド

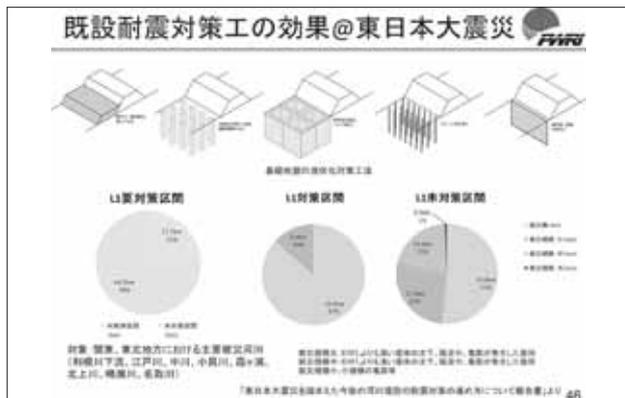
● スライド41



● スライド43



● スライド42



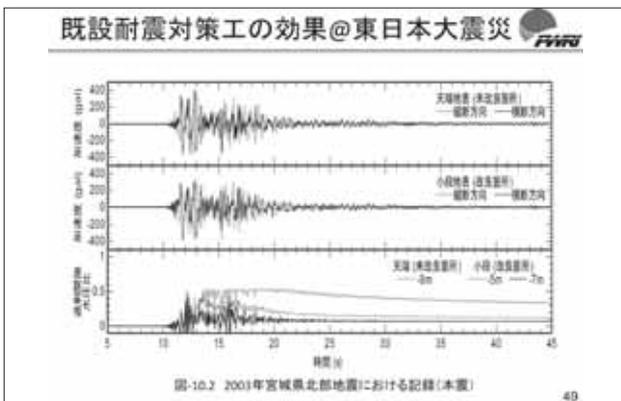
● スライド44



45) 地震の観測計、それと間隙水圧計があって、下のグラフ、改良していない天端直下だと間隙水圧が上がって液状化に近い状態になっていますが、サンドコンパクションパイルを打った小段直下だと水圧の上がり方が抑えられているということで、対策の効果があり液状化が起きていない、ということが確認できています。

それから、東日本大震災の時、浸透対策として、ドレーン工や、遮水矢板等をやった箇所というのが幾つかあったのですが、それが地震にも効いているのではないかとということでいろいろ調べてみました。(スライド46) そうすると、ドレーンを施工した箇所ではほとんど被害がない、もしくは小規模のクラック程度の被害であったということです。止水矢板を施工したところも、一部、明らかに根入れが少なくて大規模な被害がありました、その他のところではあまり被害がありませんでした。耐震矢板を施工した箇所でもほとんど軽微な被害しか出ませんでした。全体としては右下のグラフのよう

● スライド45



● スライド46



な感じなので、地震対策なり浸透対策というのもある程度は地震に効果があるということが分かっています。

これは鞍坪川の、浸透対策として裏法尻にドレーンを設置した箇所の事例です。(スライド47) ここは東日本大震災の前の2003年の宮城県北部地震の時に法面が崩れました。その復旧に合わせて浸透対策としてかごマットを置いた場所です。これは東日本大震災の時の状況です。天端には写真のようにクラックが入ったのですが、ドレーンを設置している裏法は全然壊れていないということで、2003年の地震で壊れたところに、浸透対策としてだと思いますが、ドレーンを設置して、設置したところでは被害が起きていないということで、こういう対策も地震対策としては効果があるのではないかとことです。

こちらは那珂川の事例です。(スライド48) この区間が被災して、その上流には連続する無被災の区間があるのですが、こちらの被災がなかった区間は

● スライド47



● スライド48



ドレーンがあって、被災のあった区間にはドレーンがなかったということです。左下は無被災区間の裏法尻の状況写真です。これは中に埋めてしまうタイプのドレーン工なので、表面には出ていません。ちなみに、無被災のところも周りの堤内地側にはあらゆるところで噴砂が起きていて、液状化していたような状況でした。(スライド49) ドレーン工というのは被害をかなり軽減する効果があるのかなということです。

護岸の効果についてです。(スライド50) これは表法の条件護岸ですが、護岸の切れたこの先の区間が大規模に崩壊しています。護岸のある区間もはらみだしはすごいのですが、大規模崩壊をある程度は抑えているということで、護岸についても何らかの効果があるのではないかとということです。対策工の効果は以上で述べた通りですが、東日本大震災の事例についてもかなり検証等を行っていますので、そういうところも踏まえて対策工の考え方というのを見直しています。

● スライド49



それで今回土研では、名称は変わっていますが、「河川堤防の液状化対策の手引き」としてまとめています。(スライド51) これを作るに当たっては愛媛大の岡村先生に委員長になっていただき、こういった学識者の方々や、建設コンサルタンツ協会に推薦をしていただいたこういったコンサルの方々、あとは日本建設業連合会からご推薦いただいた施工会社の方々など、こういったメンバーで検討を進めました。

「河川堤防の液状化対策の手引き」の主なポイントです。(スライド52) 基本的には平成9年の「河川堤防の液状化対策工法設計施工マニュアル(案)」がベースになっているということです。大きく考え方は変わってない部分が多いです。ただ2つ目のポイントとして挙げたように、「耐震性能照査指針に対応した外力、性能の導入」が盛り込まれています。これまで、平成9年の対策マニュアルでは対策工の安定性、あるいは堤体に対する円弧すべりの安全率ということで、沈下量を直接出していたわけではな

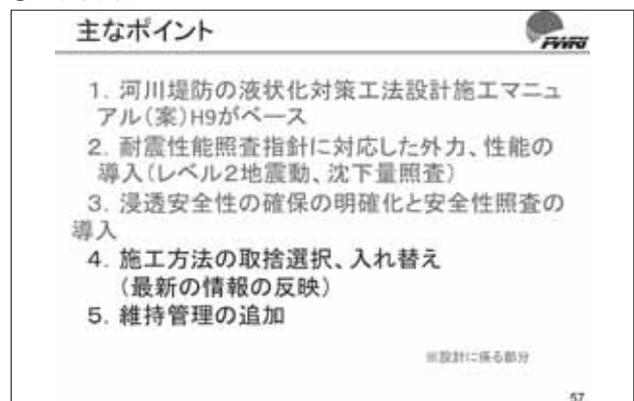
● スライド51



● スライド50



● スライド52



いのですが、今回の改定では「耐震性能照査指針」による評価と同様に、レベル2地震に対して対策を施した堤防についても沈下量で評価しましょうということが盛り込まれています。

3つ目のポイントは、「浸透安全性の確保の明確化と安全性照査の導入」ということです。液状化対策をやると場合によっては浸透安全性を低下させる場合があります。例えば、川裏側に矢板を打ったり、透水性の悪いものを入れたり、川表にドレーンを打って水を引き込みやすくしたりという場合があります。これまでも配慮事項としては書かれていましたが、やはり当時はまだ浸透に対する安全性照査というのは導入されていない時代だったのですが、今は浸透安全性の評価というのが詳細点検要領というものでまとめられていますので、液状化対策を検討するに当たっては、そのやり方で浸透安全性が低下しないことをちゃんと照査しましょうということが新たに盛り込まれました。その他、「施工方法の取捨選択、入れ替え」や「維持管理の追加」というのがポイントです。

新旧の目次を細かく並べていますが、そんなに大きくは変わってはいません。設計の基本と、あとは工法ごとに見直しをしています。(スライド53)

設計手順の概略の新旧比較です。(スライド54)左が平成9年のマニュアル、右が新たな手引きです。平成9年の対策マニュアルでは、中規模地震動に対する対策工の安定性、つまり締固工法なら液状化しないということですし、固結工法なら外的に安定し、

内部的に破壊しないということで、矢板工法なら根入れ長や応力というようなことについて照査し、それを踏まえて、中規模地震に対する堤防の安全性を円弧すべりで照査するという流れでした。

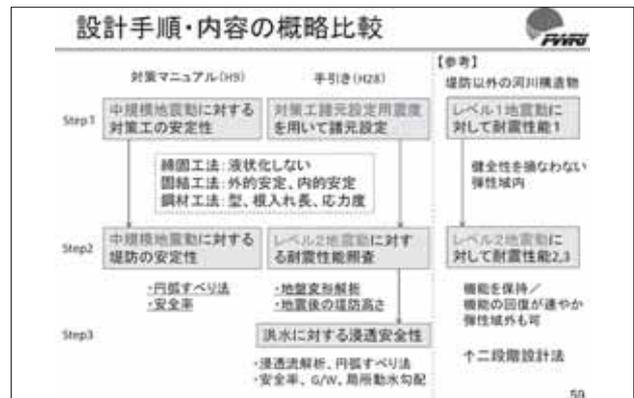
今回の手引きもそんなに大きくは変わっていません。まず対策工を、「対策工諸元設定用震度」と名前をつけていますが、これは基本的には中規模地震に対して安定性を確保しましょうということです。ここは実は変わっていません。これは諸元を決めるために、基本的にはレベル1で諸元を設定しましょうということです。そしてそれに対してレベル2地震動に対する地盤変形解析を行って、沈下後の堤防の高さを評価しましょうということです。そして最後に洪水に対する浸透の安全性を評価して、堤防の浸透に対する安全性が対策を施す前よりも低下しないことを照査しましょうという流れになっています。

参考として、堤防以外の構造物、主にコンクリート系の河川構造物がどうなっているかということですが、レベル1地震動に対して健全性を損なわない。レベル2地震動に対して機能保持あるいは機能の回復が速やか、ということで、いわゆる二段階設計をやっているんですが、これに近いと言えば近いですね。対策工が、基本的にはレベル1に対しては液状化しないこと、安定であること、レベル2に対しては多少壊れても越流しないことを照査するという形ですから、これはどちらかと言うと構造物に近い設計になっているということです。

● スライド53



● スライド54



地震の外力についてです。(スライド55)今までは「中規模地震動」だったものを、「対策工諸元設定用震度」という名前にしておりますが、基本的にはレベル1地震動相当のものです。レベル2地震動は指針に準拠しています。今回の改定では、道路橋示方書の改定に伴ってレベル2-1地震動をスライドのように見直しています。

これは基本的には指針に準拠していることですが、地震に対しては地震後の堤防高が耐震性能照査によって考慮する外水位を下回らないこと。つまり越流しないことと、対策前の堤防が有していた浸透に対する安全性を確保すること、という2つを要求しているということになります。その際の浸透に対する安全性というのは、基本的には通常の堤防の浸透安全性と同じようなやり方で照査するということになります。(スライド56)それで、これは大変誤解を招きそうな点なのですが、浸透に対しても照査しなさいと言ってしまうと、地震後に浸透に対して照査しなさいということなのか、浸透後に地震に対

● スライド55

地震外力

- ・中規模地震→対策工諸元設定用震度
(基本的には名前だけの変更。
ただし、地盤種別を考慮。)
- ・レベル2地震動→指針準拠

旧指針	新指針(案)
<ul style="list-style-type: none"> ・レベル2-1 300~400gal 地域別補正係数は東日本大震災や運動型未考慮(最大1倍) 	<ul style="list-style-type: none"> ・レベル2-1 500~400gal 地域別補正係数は東日本大震災や運動型考慮(最大1.2倍)
<ul style="list-style-type: none"> ・レベル2-2 800~600gal 	<ul style="list-style-type: none"> ・レベル2-2 800~600gal(同じ)

60

● スライド56

耐震性能と浸透安全性

4.1 設計の基本

(1)レベル2地震動による土層の物性の変化を考慮し浸透対策を施した堤防の地震後の堤防高が耐震性能の照査において考慮する外水位を下回らないことと計画高水位の水位の洪水の通常の作用に対して対策実施前の堤防が有していた安全性を確保することを照査しなければならない。

(2)上記に加え、地震によって発生しうる被害形態や現地条件を踏まえ、4.2以降にしたがって総合的に、適合する工法及びその組合せ、対策工の仕様を決定しなければならない。

浸透安全性の照査は、構造設計の平引きに準じて実施。
対策対策工の評価方法は本手引きにて示す。

「地震と洪水の同時発生は考慮しない」は変わっていない。

<p>耐震性能照査</p> <ul style="list-style-type: none"> ○平常時に地震発生 ×洪水時に地震発生 	<p>浸透安全性照査</p> <ul style="list-style-type: none"> ○対策対策後～地震発生前に洪水 ×地震発生後に(沈下した堤防に)洪水
--	--

浸透対策によって、浸透安全性が低下しないかがポイント

61

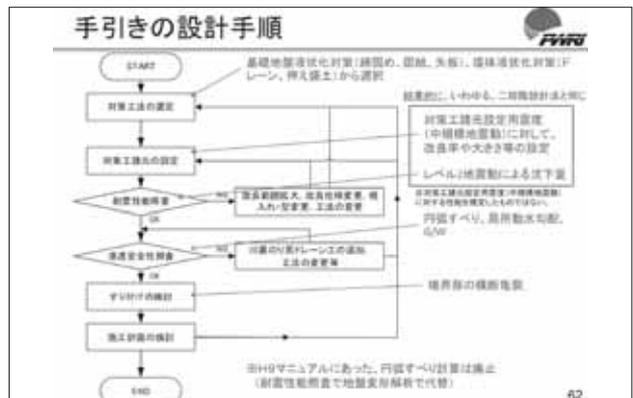
して照査しなさいということなのかを考えるかもしれませんが、基本的には前と変わってなくて、耐震性能照査については基本的には平時の水位に対して地震が発生することを想定して照査するというところで、洪水時の地震というのは考えていないということ。

それと浸透安全性照査というのは、地震対策実施後に洪水を想定するということです。つまり耐震対策が浸透安全性に対して悪さをしないことを照査するということですので、地震後の変形したものが浸透に保つことを照査しなさいと言っているわけではありません。そこは速やかに直すというのが前提になっています。

それで設計の手順です。(スライド57)具体的にはまず「対策工法の選定」ということで、対象しているのは基礎地盤液状化対策として締固め、固結、矢板を、堤体液状化対策としてドレーン、押え盛土を選定するということになっています。次が「対策工諸元の設定」ということで、従来まで中規模地震動に対して安定性能照査していたものを、先ほど述べた対策工諸元設定用震度に対して改良率や大きさを設定します。それを施したのに対してレベル2震度、いわゆる静的照査法による変形解析によって評価します。そして最後の「浸透安全性照査」で対策工を施した堤防に対して、洪水時の浸透安全性を照査するという流れになります。

なぜ変形解析だけでやらないのか、中規模地震に対する変形解析が必要な理由としてはもう1つあ

● スライド57



て、実際に静的照査法でやる中で表現できない現象があります。(スライド58) これはこの堤防法尻に固化体があると思ってください。そこに地震を与えると、地震の慣性力に伴って固化体が徐々にスライドしていくという現象があります。これは慣性力によって一方向にズルズルと動いていくということですが、これが実は静的照査法では表現できません。基本的にはALID (Analysis for Liquefaction-induced Deformation 液状化に伴う残留変形解析手法) を使いますが、静的にやるとなかなか固化体等が動いてくれません。対策効果を過大評価してしまう傾向があって、ですからこれがあまり動かない位の安定性というのを要求しないと、なかなか計算に乗ってくれないというところも背景としてはあります。ですから、対策工のこういった変位が限定的になるように、対策工諸元設定用震度に対して安定性を確保した上で変形解析をやれば、対策工自体は大きくは動かなくなるので、そうすると変形解析に乗ってくるだろうということも考えてこうなっているということです。

今回の改定によりいいところがかなり出てきました。今まではいろいろな対策をしても、円弧すべり安全率がアウトかセーフかだけで、なかなか実際の効果とのリンクというのがよく分かりませんでした。ですが、例えば図のように地盤条件が違ったりすると、いろいろな対策工を組み合わせ、最終的には沈下量で評価しますので、それがダイレクトに表れてきます。(スライド59) 例えば円弧すべりの場

● スライド58

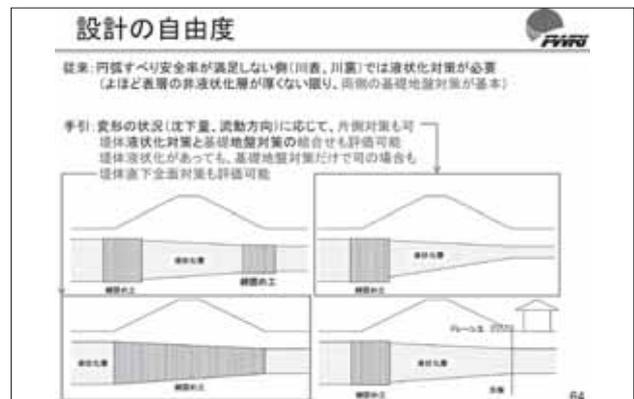


合、片側しか液状化対策をしない場合、逆側でアウトになってしまいます。しかし場合によっては液状化層厚が薄くて変形解析上、片側にしか変形しない、片側だけ対策すればOK、という場合も出てくるのですが、そういうところも基本的には表現できるようになっています。いろいろな工法の組み合わせの効果、それから直下改良した場合の効果というのも反映できてくるということで、いろいろな対策が周りの地盤条件や堤体条件、水位等によって想定される変形、それに対する対策というのが評価できるようになってきたということです。

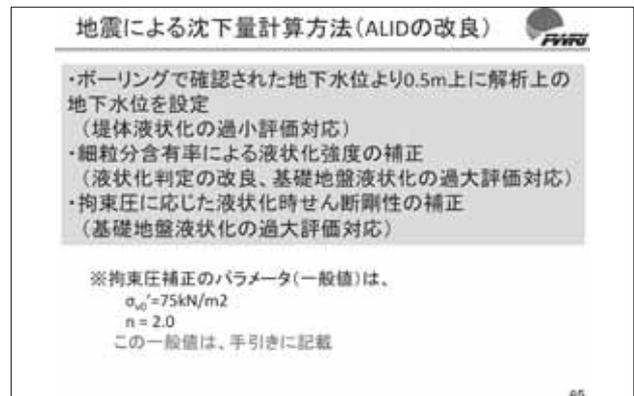
ただ逆に、ということは、やっぱり地盤内の土層の分布がはっきりしないと、対策工の効果は実際には把握できないということで、堤体や基礎地盤の土質構成や地下水位の把握が今まで以上に重要になってくるかと思えます。

次に、ALIDの改良についてです。(スライド60) 先ほども申し上げましたが、ボーリングで確認された地下水位より0.5m上に解析上の地下水位を設定し

● スライド59



● スライド60



てくださいということです。これは先ほども申し上げましたように、堤体液状化を過小評価する傾向があったので、飽和度の高いエリアまで液状化層と見なすということで、0.5m上に設定するというです。それと細粒分含有率による液状化強度の補正についても指針に応じています。拘束圧に応じた液状化時せん断剛性の補正、深いところの液状化が過大評価なのを直すということで、これは手引きでもこの考え方を入れているということです。

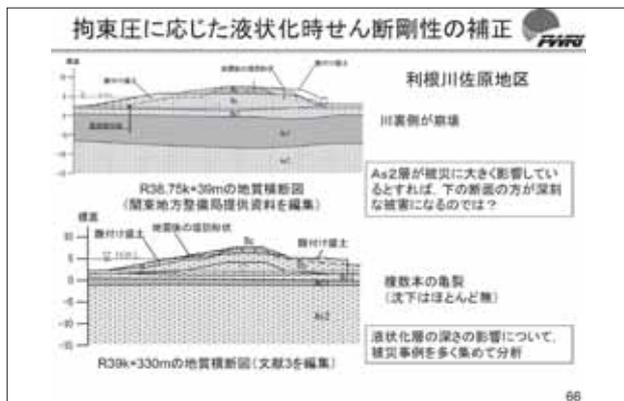
これはそれに関する利根川の東日本大震災の時の2つの事例です。(スライド61) 両者は隣接している箇所がありますが、上図の箇所は下に粘性土層があって、さらに下に砂層があります。下図の箇所も砂っぽい堤体で、表層に砂層、ここに薄い粘土層があって、下に砂層があります。これは液状化判定をすると、下のAs2というところまで液状化してしまって、そうすると昔の解析上ではたぶん下図側の被害がひどいという結果になるのですが、実際には下図箇所はクラックが入った程度で、上図箇所では川裏

側が崩壊しています。この浅い層の液状化がかなり効いていて、深い層の液状化があまり効いていないという傾向が出てきています。

これは深いところでは液状化しないのではないかとこの根拠として、幾つか事例をご紹介します。(スライド62) これは千葉市の公園で、東京湾の花見川緑地だったと思います。ここは国総研が地震観測をしていた箇所で、このように公園の周りが液状化して沈下しています。こういった箇所で強震計の観測が行われています。ここの地盤は、まず埋立地盤、その下が自然沖積地盤、さらに下が洪積地盤です。(スライド63) 液状化判定すると、この埋立層と沖積層の下のあたり、この辺のシルト質細砂の部分で液状化するという結果になります。

ここでは表面付近、埋土の上あたり、沖積層のあたり、そして基盤で鉛直アレイの強震観測が行われています。これは何をしたかと言うと、強震計間から地震動が鉛直に伝わってくる時の位相速度と、つまり地震の伝播速度を求めています。基本的には液状化すると剛性が低下してくるので、この伝播速度が遅くなります。ここはいわゆるこの位相速度です。(スライド64) 波形はこんな感じですが、そうするとG.L.-2~9mの間ではこの辺から位相速度が下がっている。この辺でどうも液状化しているらしいというのがわかります。それで、G.L.-9~19mの間ではここで、どうもこの辺で急に速度が遅くなっているということ、液状化しているというのがよくわかります。それで、G.L.-19~45mの間だとほ

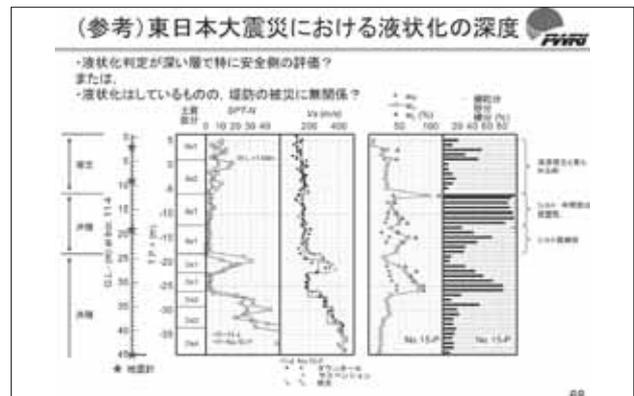
● スライド61



● スライド62



● スライド63

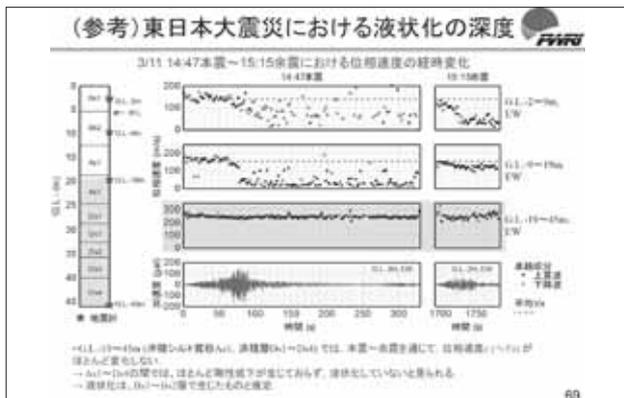


とんど地震中は変わっていません。なので、この間は液状化していないということが分かります。そうするとやはり、ここのAs1という自然地盤の層が判定上は液状化するのですが、どうもこの間ではしていないぞということが分かると思います。実際に液状化したのはG.L.-2mからG.L.-19mのどこかでしているということで、恐らくこのBs1、Bs2の両方が液状化しているのではないかとということで、いわゆる人工地盤しか液状化していないということが分かります。ただ、液状化判定上はAs1も液状化してしまいます。これはまだまだ解明できていない部分です。

ちなみに、右が余震です。余震の時にはG.L.-9~19mはあまり落ちていません。余震程度だと消散の影響とか地震が小さいという影響もあって、深いところはしていなくて、表層付近は余震でも液状化しているということが分かっています。ですから、やはりなかなか解明ができていないのですが、深いところはどうも液状化しにくい、もしくは自然地盤As1は液状化しにくいということが分かっています。

それで、深いところは液状化しにくい、ということについてです。(スライド65) これについては「年代効果」ということがよく言われていますが、東日本大震災等だと埋立地ばかりが液状化していて、自然地盤はほとんど液状化していません。それは時間経過、あるいは繰り返し地震を受けることによって砂の粒子の骨格構造が安定化してくる等いろいろなことが言われていますが、あまり解明されていま

● スライド64



せん。

それから「水圧伝播」ということで、液状化して水圧が上がると水が上に抜けていきますが、浅いほどその影響が地盤の変形に寄与するのではないかとも言われています。あとは「繰返しせん断応力」ということで、地震動の揺れに対して、深いところではそんなに繰返し応力がかかっていないのではないかとも言われています。こういった影響があるということですが、まだまだ解明できていない部分です。ですから、本当は深いところの液状化のしにくさというのは液状化判定で見た方がいいのかもしれませんが、今のところは変形解析のほうで見えています。

深い液状化層はあまり変形に影響しないということなので、これは先ほども紹介したように、変形解析で深いところでは剛性が低下しにくくなるような効果を入れましたということです。この辺は時間がないので飛ばします。(スライド66)

それで実際に対策工の設計がどう変わったかという話をしたいと思います。工法自体の細かい説明は

● スライド65

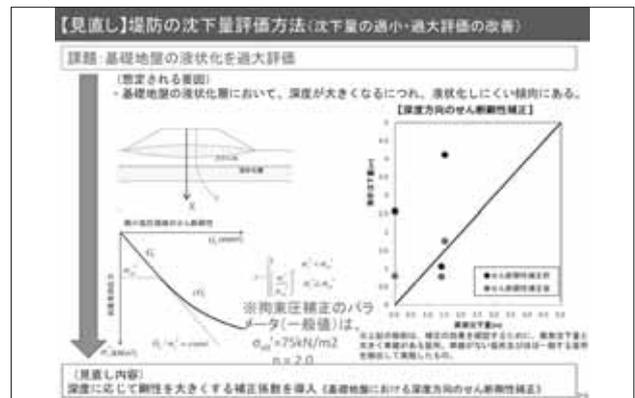
①年代の影響
 ・東日本大震災においては、比較的若い埋立地において液状化の発生が顕著
 ・蓄積試験や模型試験でも、時間の経過とともに、あるいは液状化等の履歴を受けるにたがって液状化強度が増加
 ・液状化強度が増加する理由としては、密度増加や固結だけでなく、砂粒子の配列(構造)がより安定したものに変わることが考えられる

②水圧伝播
 ・地中発生した過剰間隙水圧により上向き連通流が発生
 ・液状化層の上部ほど過剰間隙水圧比が大きくなり、その継続時間は長くなる

③繰返しせん断応力
 ・地震や入力地震動の周波数特性によっては、液状化判定で仮定しているほど大きなせん断応力が地中では作用していない可能性

④初期せん断力
 ・液状化層がせん断変形するには初期せん断応力が作用している必要
 ・深いほど小さくなる。

● スライド66



省きますが、基本的に締固め、固化、矢板、あとは堤体液状化対策を対象にしています。

締固め工法についてです。(スライド67) こういう砂杭を打つということで、よくあるのは振動で締固めるものですが、最近では隣接構造物や騒音・振動の問題で静的圧入というのが増えている傾向にあります。

これは新旧の設計フローの違いです。(スライド68) 大きくは変わっていませんが、従来ですと、中規模地震に対して液状化しないように改良域を設定して、それで円弧すべりで保つかどうかで設定するという流れでした。新しい設計フローでは「改良仕様の設定」として先ほど言った対策工諸元設定用震度、いわゆるレベル1地震動相当で、締固め改良をしたところが液状化しないことや、改良範囲を設定した上で耐震性能照査をして、沈下量が許容値に収まることを照査し、最後に浸透安全性の照査をするということになっています。要するに、今まで円弧すべりでやっていた最後の部分に変形解析が変わっ

たと考えていただければいいと思います。

その他の仕様を決める際の変更点です。(スライド69) 締固め工法の置換率の設定方法には方法A、B、C等がありますが、最新の方法Dを使っています。これは細粒分が多い場所での適用性を改善した方法です。置換率については恐らく最大で30%位でしようということで、最大置換率を決めています。

改良範囲の設定ということでは、改良深度的にはレベル1での液状化層の上から下までを最小範囲とするということと、改良幅としては法尻を含めて、砂杭3列、2列だと心もとないので最低3列になっています。今までも事例的には3列で行われていたということです。この最小改良範囲は計算に載せるところもありますし、締固め工法として最低限ある程度の幅が要ということで設定しています。そして従来の方ですと、液状化しないように改良した上で、円弧すべりで照査していましたが、今後は変形解析で評価できるということです。(スライド70、71)

次に固結工法についてです。(スライド72) これはセメント等で地盤を固めるという工法で、深層混合処理工法や、狭隘な場所なら高圧噴射などいろいろあるかと思いますが。それで堤防の場合によく使われているのは、格子状に改良してボリュームを減らす工法がよく使われているかと思いますが。これも新旧のフローになっています。(スライド73) 古い方は固結、改良体の諸元を設定した上で、最後は円弧すべりで照査していましたが、新しいフローではこ

● スライド67

締固め工法

(1) 締固め工法は振動、あるいは材料を地盤中に圧入することで、砂地盤の密度増大によって、改良範囲内の地盤の液状化強度を高める工法である。

(2) 締固め工法は、主に振動エネルギーを地盤に与えることによって間隙比を減少させる振動締固めと材料を圧入し間隙比を減少させる圧入締固めに大別され、圧入締固めに振動を用いる動的な工法と、振動を伴わない静的な工法にさらに分類される。

地盤の中で砂杭を造成
(砂を入れた分だけ密度が増加)

81

● スライド68

締固め工法の設計フロー

従来の設計フロー

新しい設計フロー

従来の方法では、改良仕様は中規模地震動に対して液状化しないように設定し、円弧すべり計算によって改良範囲を設定していた。

新しい方法では、改良仕様は従来の方法と同様の考え方で設定し、改良範囲を円弧すべり計算ではなく、レベル2地震動による次工後の堤防高さが照査外水位を下回らないように設定することとした。

82

● スライド69

締固め工法の設計の主な変更点

- 改良仕様の設定
 - ・置換率の設定方法は方法Dを適用
 - ・最小置換率(6%程度)
 - ・最大置換率(30%程度)
- 改良範囲の設定
 - ・最小改良範囲の設定
改良深度: 液状化層(対策工諸元設定用震度)上端から下端
 - 改良幅: のり尻付近を含め、砂杭3列
- 改良仕様、改良範囲の決定
 - ・レベル2地震動に対する耐震性能照査で設定

83

こが変形解析に変わっています。

それで固結工法はいろいろな点が細かく変わっています。(スライド74)平成9年のマニュアルだと、どうも改良範囲が大きくなり過ぎるきらいがあったので、かなり合理化が図られています。

まず改良範囲の設定として、最小幅を決めています。これは改良深さの6割位に寸法を規定しています。これはかなり薄くしても、ALID計算上では相当保ってってしまうということがあって、これまで

の実績から6割位は確保していたので、それで最低縛りというのを入れました。将来的にはなるべく廃止したいのですが、現在の変形解析をするとかかなり保ってしまう傾向にあって、ここは最後の手段ということで入れてあります。改良深度は液状化層の下端までということ。円弧すべりによる改良範囲の設定については除外されました。

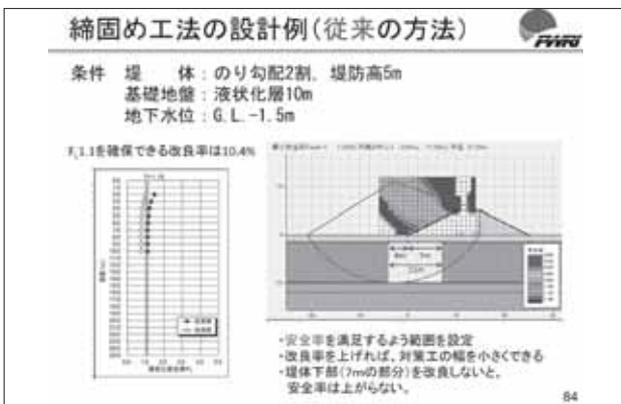
最小改良仕様には最小改良率50%という最低縛りを入れてあります。実績としても50%未満というのはほとんど例がありません。

次に対策工の外的安定に関しては、今までは基本的に改良体の安定性ということで滑動・転倒・支持力に対して照査していましたが、支持力照査について若干見直すということと、転倒の照査については要らないだろうということになりました。

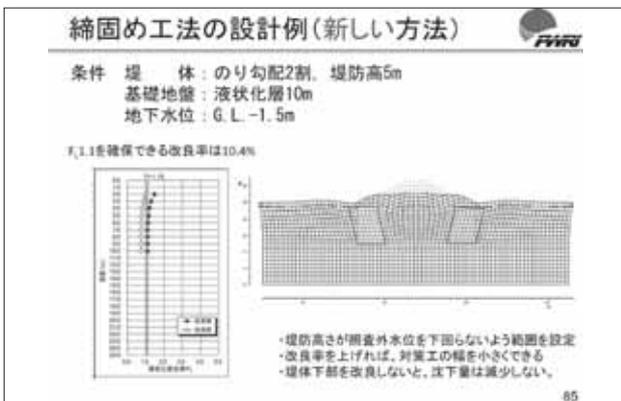
そして対策工の内的安定については、別に角が欠けてもいいのではないかとということで、端趾圧の照査はなくなりました。

以上を細かく見ると、照査項目ということになり

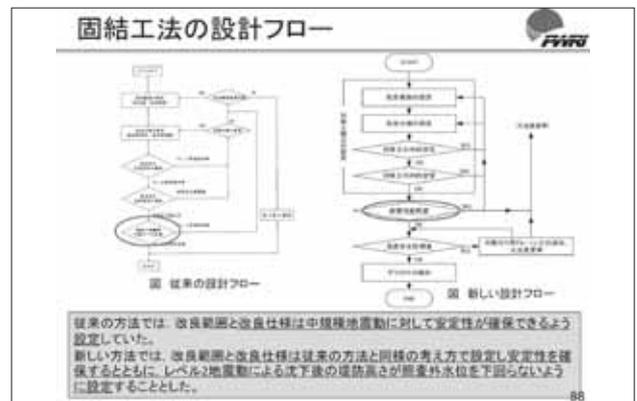
● スライド70



● スライド71



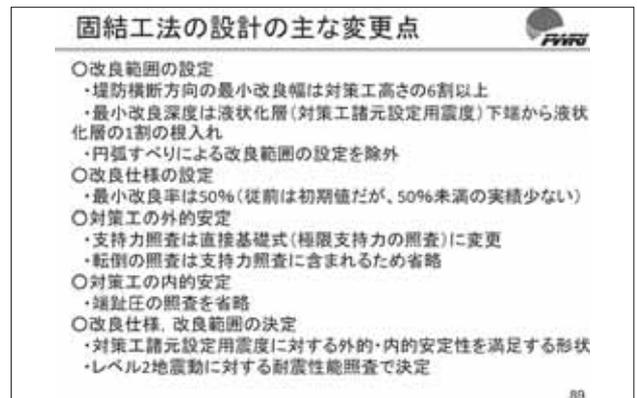
● スライド73



● スライド72



● スライド74



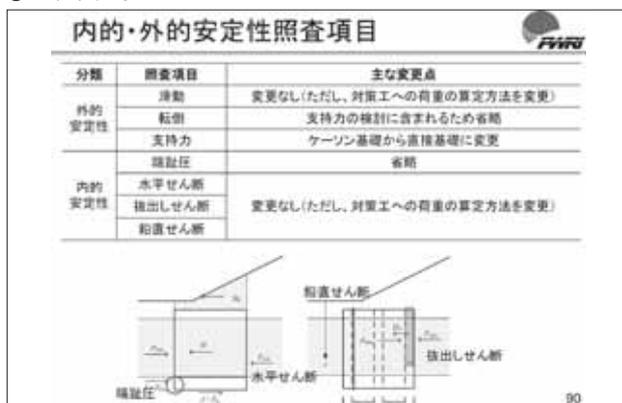
ます。(スライド75) まず外的安定性というのは改良体が全体としてひっくり返らないか、安定かどうかということです。そのうち滑動については変更はしていません。ただし、外力を若干見直しています。転倒については要らないだろうということです。あとは支持力については、今までは道路橋のケーソン式を持ってきていましたが、偏心傾斜の影響が大きいため、直接基礎の支持力照査に変えています。内的安定性というのは、改良体が壊れないかということですが、先ほど言ったように端の角欠けはもう要らないだろうということで、省略ということです。その他、特に大きな変更はありません。

外力の見直しについてご説明します。(スライド76) 外力として、安定するために固化体に作用する慣性力、液状化層から伝わってくるような水平方向の土圧、それと鉛直方向の土圧をかけ、安定性照査をするのですが、そのうち慣性力と振動成分土圧をかなり大きく見直しています。これは実験の模式図ですが、液状化すると土圧が上がります。揺れなが

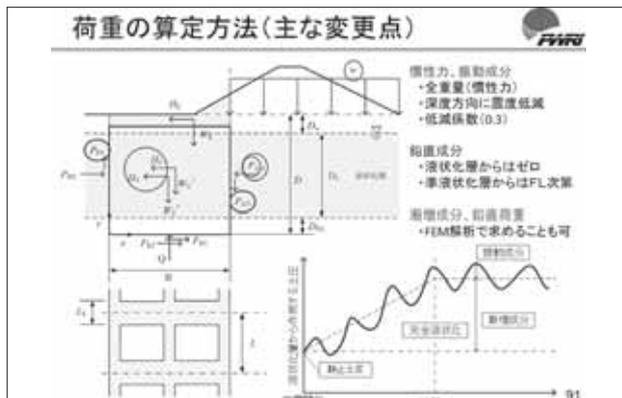
ら上がっていきます。これは、液状化する前は、静止土圧と言って鉛直圧の大体0.5程度がかかっていますが、液状化して水のようになってしまうと、それが1に近づくということです。全上載圧の側圧がかかっていることになっています。その漸増成分と振動成分の土圧というのをかけるのですが、それを見直しています。振動成分については、今まではWestergaardの動水圧というのをドカンとかけていたのですが、それはかなり安全すぎるということが分かってきたので、これを低減させています。それから漸増成分土圧というのは徐々に上がっていきますが、その上載圧の考え方についても見直しています。

基本的に、慣性力と振動成分の土圧に、今までのものに0.3をかけ小さくしたということです。(スライド77) 模型実験の結果、どうも今の数値は安全側すぎるということが分かっています。これがその模型実験ですが、実際に堤防を作って、ここに改良体を入れて、それで揺すってみました。これは本当にセメントで作っています。これは設計上壊れるように作ってあるので、改良体の中にクラックが入って壊れました。ここまで壊れると、さすがに対策効果はなくなってきますが、多少のクラック程度ならあまり対策効果には影響ないことが分かっています。これは実際にいろいろなケースについて実験をやってみたものです。(スライド78) クラックが入ったケースや、その他健全だったケースのそれぞれに対して、改定前の評価でやるとほとんどアウトになってしまうのですが、先ほどの0.3をかけると壊れた

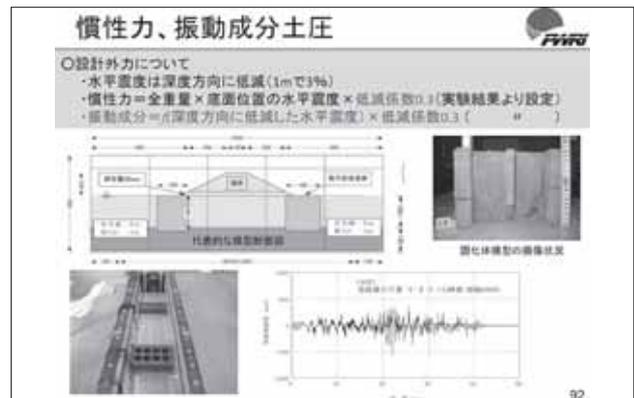
● スライド75



● スライド76



● スライド77



ケースはアウトに、壊れていないケースはセーフになる。そういうことで、実験結果にもとづき0.3掛けにしたということです。

次は漸増成分の土圧ということです。(スライド79) これは先ほどの、改良体にかかる、水圧が上がっていくことによって増えていく土圧です。これは上載圧によるものですが、堤防の法面は斜めになっているので、どの範囲の上載圧を取るかによって、その大きさが変わってきてしまいます。今までの基準だと、この45度の範囲の上載圧の平均値を取るといようなことをしていましたが、それではこの改良体の中に入れていくと土圧が大きくなってしまいます。改良体が法尻から内側に行くほど、改良体の幅を大きくしなければいけないという、矛盾するような結果になってしまい、これはなかなか簡易に設定するのは難しいなということで、FEMでいろいろ試算をしてみました。(スライド80~84)

結論から言ってしまうと、この45度の範囲だと過大に過ぎるということです。グラフではFEM解析で

実際にどうなるかというのが三角のプロットになっています。ひし形プロットの平均盛土荷重というのは、盛土全体、法尻から法尻までの上載圧の平均です。この正方形のプロットが先ほどの45度の範囲の土圧です。45度だとかなり過大な場合が多いということと、過小評価もするというです。やはり平均盛土荷重がFEMと大体整合的ということで、基本的には平均盛土荷重でやってくださいということにしています。

● スライド78

慣性力、振動成分土圧

○ 抵減係数0.3について

項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
土質	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂	砂
高さ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
係数	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

・静的安定(支持や滑動)で、設計が決まることになっているが、多くの場合、鉛直せん断もぎりぎりの状況。
 ・慣性力や振動成分などの外力を低減させない限り、OK/NGの状況を体系的に変えることはできない。
 ・抵減係数0.3のとき、調べた全てのケースでOKかつ後者のない多くのケースでOKになる。

● スライド80

漸増成分土圧

OFEM解析による盛土の自重による鉛直応力の算出

境界条件: 側面=拘束ローラー, 底面=固定
 液状化層: ポアソン比0.499, 体積弾性係数を液状化前相当となるようせん断弾性低下
 漸増成分土圧=側面境界に与った要素の水平応力
 この方法で求めた漸増成分は、類似の模型実験で、ロードセルで計測した漸増成分と整合性が高かった

● スライド81

漸増成分土圧

OFEM解析モデル(盛土高さ5m&2割勾配, 盛土高さ10m&3割勾配)

盛土高さ5m&2割の液状化層の範囲(与対策工の位置)との組み合わせ

● スライド79

漸増成分土圧

○ 堤体直下の砂層が液状化すると、鉛直応力=水平応力
 ○ 盛土側は盛土分鉛直応力が大きいので、水平応力も大きい。
 ○ 盛土側の鉛直応力はどのように求めるのが良いのか?

実務で、一般的に用いられている方法(対策工下縁から45度の範囲)

・対策工を堤防側に移動するほど、漸増成分土圧が大きくなり、対策工が大きくなる。
 ・対策工の位置にそこまでの感度があつてのよいのか?

⇒FEMの解析の結果を参考に

● スライド82

漸増成分土圧

OFEM解析から得られた漸増成分土圧との比較(盛土高さ5m&2割勾配)

液状化層厚20m, 15m, 10m, 5m

平均盛土荷重
 45度平均盛土荷重
 FEM

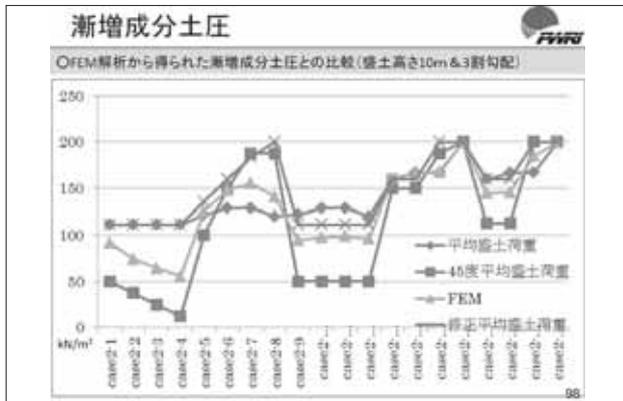
そして、法面勾配が緩いとなかなか合わないということで、基本的にはFEMもやってくださいということで両者併記になっています。そんなに難しい計算ではないと思います。

これは固結工法の設計例についてです。(スライド85~87) 今まででは固化の諸元を設定して、円弧すべりで保つ、保たないというところですが、特に固化の場合にはこの固化体の隅の位置がどこかで円弧が規定されてしまうので、実は固化体の大きさとい

うのは関係なく、内側に入れば安全になってしまうという形だったので、本当に性能と合っているのかというところが従来まではあったのですが、今度からはこういった変形解析によって固化の効果が評価できるということになります。内側に入れるほど対策効果は増えてくるという傾向はそんなに大きくは変わりませんが、かなり実際の変形に近い結果が出てくるようになってきたということです。

次は鋼材を用いた工法です。(スライド88) これは矢板を打つことによって、側方変位を防止することによって沈下を抑制しようという工法です。これまでは、矢板の諸元、根入れ深さとか、応力度を照査することによってそれら諸元を設定した上で、最後に円弧すべりというところを、その最後が変形解析になったということです。(スライド89) これはそんなに大きく変わってなくて、諸元設定については従来どおりに、矢板に土圧をかけて矢板の根入れと応力度のチェックをするということです。(スライド90)

● スライド83



● スライド84

漸増成分土圧

OFEM解析との比較から得られた結果

- ・45度で求めると、液状化層が狭長の場合にFEMより小さくなる場合がある。FEMよりも変化の割合が大きい
- ・45度よりも平均盛土荷重の方がFEMに近い。ただし、堤防のり面勾配が緩いとFEMよりも小さく算出する場合もある。
- ・対策工に近い断面で平均盛土荷重を算出する方法(修正平均盛土荷重) FEMよりも小さくなることはなかった。
- ・修正平均盛土荷重では、安全側すぎる場合もある

→ 2割程度であれば、平均盛土荷重のり面勾配が緩い場合には、FEMから直接算出(おすすめ)

● スライド86

固結工法の設計例(従来の方法)

条件 堤体：のり勾配2割、堤防高5m
基礎地盤：液状化層10m
地下水位：G.L.-1.5m

ステップ2: 円弧すべり計算

改良範囲のうち、堤体側上側の角の位置が支配的
=堤体直下で液状化層の場合、堤体直下に入れる必要あり

● スライド85

固結工法の設計例(従来の方法)

条件 堤体：のり勾配2割、堤防高5m
基礎地盤：液状化層10m
地下水位：G.L.-1.5m

ステップ1: 外的、内的安定を確保できる諸元を探す
ただし、対策工の位置(施工性、周辺環境等が支配的)によって、荷重が変わるので、結果も変わる

改良体積が最小となる諸元

● スライド87

固結工法の設計例(新しい方法)

条件 堤体：のり勾配2割、堤防高5m
基礎地盤：液状化層10m
地下水位：G.L.-1.5m

ステップ1: 外的、内的安定を確保できる諸元を探す
ただし、対策工の位置(施工性、周辺環境等が支配的)によって、荷重が変わるので、結果も変わる(やり方が若干異なるものの、やっていることは従来とほぼ同じ)

改良体積が最小となる一諸元

排水機能付き矢板というのがよく使われていましたが、これについて矢板の土圧の低減とか、反力の効果とか、そういう諸元設定の部分では今までどおり排水効果を考慮するのですが、最後の沈下量計算では排水効果を考慮しないということになりました。というのは、現時点では変形解析の中でドレーンの排水効果についてなかなか評価できていません。安全側にはなるのですが、排水効果は変形解析上、見ないということにしています。

従来までは、矢板に対しては、地震時の土圧をかけて、根入れが安定することと、矢板の応力度をチェックする、それによって決めた諸元に対して円弧すべり安全率を満足することを照査する、と言っていたものを、諸元の設定についてはほとんど変わっていませんが、それに対して最後、沈下計算をするということで評価する点が更になっています。(スライド91、92)

最後に、これは堤体の液状化対策です。(スライ

● スライド88

河川堤防の液状化対策の手引き

鋼材を用いた工法

鋼材を用いた対策は堤防下の地盤の液状化によって盛土が大きく変形することを、鋼材の剛性と埋入部の地盤抵抗などによって抑制するものである。また、排水機能付き鋼材では鋼材周辺の過剰間隙水圧の発生を低減することにより、鋼材に作用する液状化荷重の低減及び地盤反力の増加を図り、鋼材の剛性と埋入部の地盤抵抗などと合わせて堤防盛土の変形を抑制するものである。

鋼材を用いた工法

● スライド91

鋼材を用いた工法の設計例(従来の方法)

条件 堤体：のり勾配2割、堤防高5m
基礎地盤：液状化層10m
地下水位：G.L.-1.5m

①型の設置
②外力(動水圧、振動)
③埋入長さの設定
④円弧すべり(対策工の下側を通る円弧のみ考えればよい)
⑤沈下量、変位量(例示はあるが・・・)
⑥モーメント→応力度

● スライド89

鋼材を用いた工法の設計フロー

図 従来の方法の設計フロー
河川堤防の液状化対策工法設計指シマニュアル(案)

図 新しい方法の設計フロー
河川堤防の液状化対策の手引き(仮称、案)

従来の方法では、中規模地震動に対して鋼材等の安定性が確保できるように鋼材の仕様・埋入長を設定していた。安定性とは、鋼材に発生する応力度が特定の許容値以内となることを主とし、鋼材の変形による堤防の沈下や円弧すべりを主としたものであった。
新しい方法では、鋼材の仕様・埋入長を、従来の方法と同様の考え方で対策工設定用震度に対して鋼材に発生する応力度が許容値以内となるよう検討した上で、レベル2地震動による沈下後の堤防高さや照査外水位を下限らないように設定する。

● スライド92

鋼材を用いた設計例(新しい方法)

○耐震性能照査(円弧すべり安全率、変位量の代わり)
レベル2地震動に対して、液状化後の天端高が照査外水位を上回る対策工の範囲を設定する。
→照査水位を満足しない場合は、改良仕様、改良範囲を見直す。

● スライド90

鋼材を用いた工法の設計の主な変更点

- 諸元設定
従前どおり。
諸元設定用地震動に対する液状化層が無い場合には、
・レベル2地震動に対する耐震性能照査により決定
・鋼材の応力度を確認する。
- 耐震性能照査(円弧すべり等の代わり)
・レベル2地震動に対する耐震性能照査で設定
(矢板の長さや型がこれで決まる)
- 排水機能付き矢板
・諸元設定では排水効果を考慮する。
・耐震性能照査では排水効果を考慮しない。

● スライド93

3. 河川堤防の液状化対策の手引き

3. 1. 基礎知識・過去の事例
3. 2. 手引きのポイント
3. 3. 締固め工法
3. 4. 固結工法
3. 5. 鋼材を用いた工法
3. 6. 堤体液状化対策

ド93) これまでも堤体の液状化対策としては押え盛土とか、ドレーンの設計という工法がメインになると思います。先ほど紹介した事例の中でも、ドレーン工によって被害が抑制されているような事例があったということです。

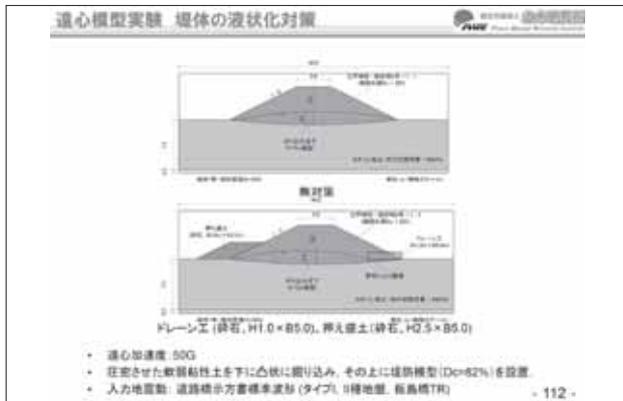
先ほど映像では見せましたが、こういった模型実験等を行っています。(スライド94~96) これは無対策のケースと、ドレーンと押え盛土をしたケースを比較したものです。これは横から見ると分からな

いのですが、直上から見ると一目瞭然で、この写真は上が無対策のケースで、下がドレーンと押え盛土のケースです。クラックの入り方も全然違いますね。(スライド97) 堤体液状化は特に法尻を止めること、法尻が動かなければ上はそれほど動かない、ということが分かるかと思います。沈下量以上に、見た目でかなり違うということが分かります。

それで平成24年の時には時間がなかったもので、模型実験とか被災事例を元に仕様規定として、対策工の大きさ、例えば「ドレーン工をやる場合なら貫入量は盛土高の0.6倍入れてください、対策工の高さは盛土高の0.2倍以上入れてください」とか、「表法腹付けの寸法は盛土高の半分位までやってください」としていました。(スライド98) これは1年しか時間がなかったもので模型実験等で決めた寸法ですが、これをちゃんと設計ができるようにしたということです。

これは平成24年2月に出した対策のフローです。(スライド99) 概ね仕様規定のようなフローになっ

● スライド94



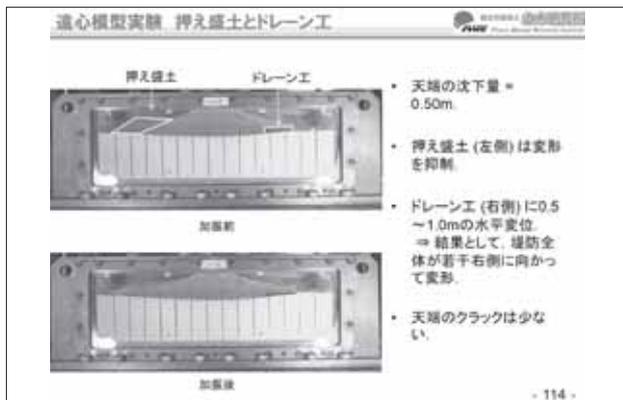
● スライド95



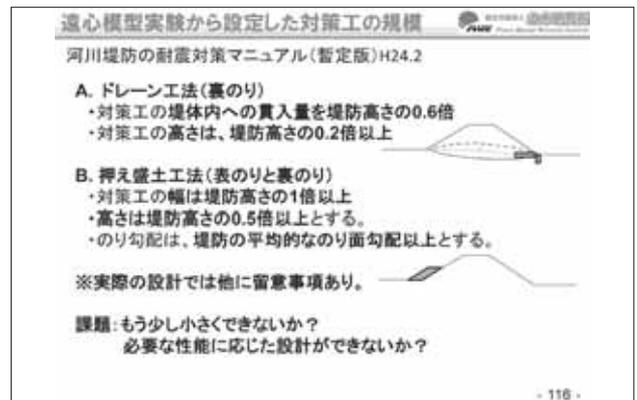
● スライド97



● スライド96



● スライド98



ています。地下水位の低下ができるのであれば、地下水位を低下させるドレーンを設定する、表法なら表法の押え盛土、裏法ならドレーンが入れられるか、というような工法選定のフローです。新しいフローはもっとシンプルなものになっていて、基本的には変形解析で求めます。水位設定をして、ドレーン工等を設定したら水位が下がる効果がありますので、それを考慮した上で、最後の耐震性能照査をしてくださいということにしています。

その内、特に対策工の設定方法についてです。(スライド100) 基本的には堤体液状化はこういうところに水が入っていることによって起きるということで、対策工を施すことによって水位を下げる効果と、押え効果の2つの効果があるのですが、それを変形解析で考慮しますということです。特に水位を下げる効果については浸透流解析を事前にやるということになっています。基本的には堤体内の水位を再現するような雨量を設定して、その雨量に対して対策工を施すと水位がどうなるかということの評価し

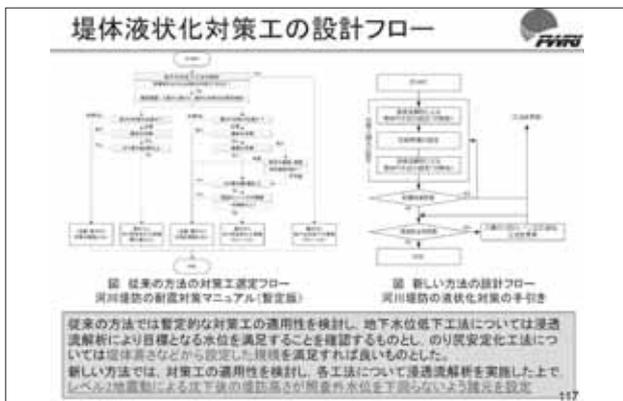
ます。

ちなみに、同じ堤体液状化でも、図のように水位が下にある場合は、ドレーン等を施工しても効果がなくて、基礎地盤の液状化対策をやらなければいけないという場合もあるので、工法選定のところでは留意した方がいいということです。それと、具体的な仕様については照査法で決定するということになります。

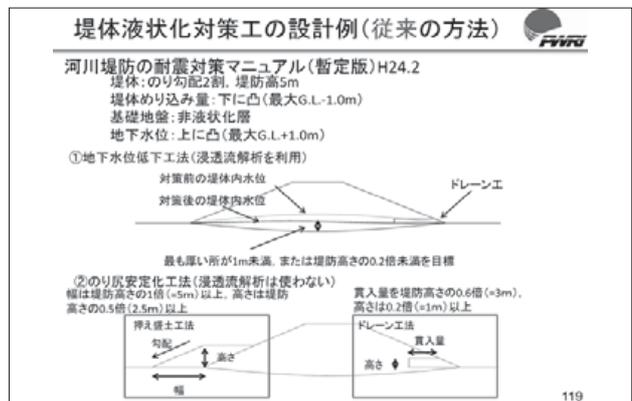
これは先ほども紹介したように従来する方法です。(スライド101) この方法ではほとんど仕様規定で決めていたのに対して、今回からはこういう変形解析でやるということになっています。(スライド102)

ですから、最初に無対策の場合の降雨量を、浸透流解析用の降雨量を設定し、現況の調査で調べられた水位を設定します。ではそこにドレーンと押え盛土をやった時、水位がどう変わるかということ評価した上で、その水位に対して変形解析をやるということになります。ただ当然、浸透流解析をやらなくてもドレーンを入れると変形解析上は効いてきたり

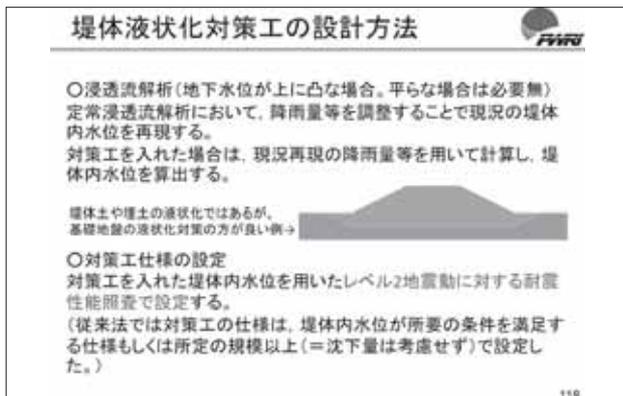
● スライド99



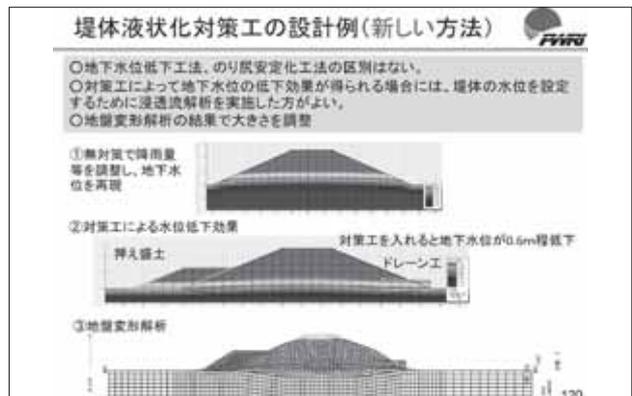
● スライド101



● スライド100



● スライド102



もしますので、省略しても悪くはないのですが、恐らくやったほうが大きな効果が見込めると考えます。

そういうことで、最後に本日のまとめになります。(スライド103) 堤防の地震被害は液状化がほとんどであるという話をしました。次に堤防の液状化被害としては、まず基礎地盤の液状化、それから堤体自体が液状化することもあるという話をしました。そして地形的には、干拓地、自然堤防、氾濫平野、旧河道等での被害が多いということを事例でご紹介しました。

ですから、やはり液状化と言っても、いろいろな土質や地下水位の状況がかなり影響してきますので、評価する上で地下水位の把握は重要です。さらに、実際の調査は断面ごとにやりますが、堤防は非常に長いので、その断面の抽出が非常に重要になってきます。そういった地形によっても全然違うということで、一連区間の設定とか、代表断面の設定では地形的な影響も考慮する必要がかなりあると考えています。

それと国の「河川構造物の耐震性能照査指針」の改定の話をしました。(スライド104) レベル2-1地震動の見直しがされているということと、併せて液状化判定法の改良もされております。これの留意点を考えてみますと、先ほどお話ししましたが、今回、液状化判定法が変わって、細粒分含有率によって液状化強度が高くなる効果というのが従前よりもかなり敏感に反応するようになってきたので、かな

り細かな粒度試験が必要になるかと思います。よくあるのが、1層に1点しかなかったり、特に多いのが「盛土:B」というだけで終わって、粒度試験をやっていないところがある。そういう例が既存盛土にはままあるのですが、かなり細粒分とか土質の影響が効いてきますので、その調査に当たっては非常に注意が必要かと思います。

それと堤防の沈下量の評価法の見直しということで、基礎地盤と堤体を一緒にやるようになりましたということです。特に地下水位の見方を直したり、拘束圧補正というのを入れていますという話をしました。

それでその結果として、先ほどから何回も言っていると思いますが、浅いところでの液状化が以前よりも沈下に効くようになってきています。それで従来は深いところに砂層があれば大体アウトになって要対策となっていました、深い液状化はあまり影響しない傾向にあって、堤体も含めた浅い部分が非常に影響します。

ですから、やはり堤体を含めた表層付近の土質構成、それから堤体内の水位が以前より敏感に効くようになってきています。ですから、その調査が非常に重要になってくると思います。特に、さっきも言ったのですが、「堤体:B」となっていると、これはちょっと評価できないということなので、堤体内の土質構成、粒度の把握というのが非常に重要になってきます。

それから水位です。先ほどもパラスタの結果をお

● スライド103

まとめと留意事項(1/2)



○河川堤防の地震被害

- ・河川堤防の大規模な被害は液状化によるものがほとんど
- ・液状化被害としては、基礎地盤の液状化と堤体の液状化
- 特に堤体の土質・堤体内の地下水位の把握が重要
- ・地形的には、干拓地、自然堤防、氾濫平野、旧河道等での被害が多い傾向
- 調査における一連区間の設定、代表断面の抽出では微地形を考慮する必要

○河川構造物の耐震性能照査指針<堤防編>

- ・L2-1地震動の見直し→東日本大震災等の震源域が運動する影響を考慮
- ・液状化判定法の改良(細粒分含有率による補正)
- 細粒分の多い砂の液状化強度の改善、細粒分含有率が液状化強度に及ぼす影響が大(地盤調査に当たり細かな粒度試験が必要)
- ・堤防の沈下量の評価方法の見直し(基礎地盤と堤体液状化の一体評価、地下水位設定、拘束圧補正)
- 浅部の土層構成、堤体の構成、地下水位が解析結果に大きく影響。調査にあたっては、表層付近の土層構成、堤体内の土質構成、地下水位の把握が重要。

122

● スライド104

まとめと留意事項(2/2)



○河川堤防の液状化対策の手引き

- ・耐震性能照査指針に対応した外力、性能の導入(レベル2、許容沈下量)
- 対策工種元設定用震度(中規模地震動)に対して対策工自体の安定性を確保した上で、L2地震動に対する変形照査により対策工の効果を沈下量で評価。土層構成、地下水位の状況等を踏まえた対策工の選定・配置が重要
- ・浸透安全性の確保の明確化と安全性照査の導入
- 液状化対策の実施により少なくとも堤防の浸透安全性の低下がないよう、工法選定の工夫、のり床ドレーン工などの浸透対策の併用が必要
- ・最新の技術動向を踏まえた液状化対策工の設計法の更新

○課題

- ・液状化強度に及ぼす年代効果の影響、地震時せん断応力の評価
- ・延長の長い堤防の基礎地盤構成、堤体土質、地下水位を合理的に調査する技術の開発
- ・対策工の継続的な技術開発

ご質問は、(国研)土木研究所 地質・地盤研究グループ 土質・振動チーム
dohtsu@pwri.go.jp まで

123



見せましたが、50cm変わるだけで沈下量が平気で1m位変わる場合もありますので、水位の把握をきっちりやる。特に堤体内の水位というのは、ボーリング調査で下層の不透水層を打ち抜くと下がってしまうこともあるので、初期水位をちゃんと把握することが非常に重要になってきます。

そして土研の「河川堤防の液状化対策の手引き」の改良に関する話をしました。基本的には今までとあまり変わっていませんが、対策工諸元設定用震度、中規模地震動に対して、対策工自体の安定を確保した上で変形解析を行うということになっています。これは理由としては諸元を決められないということもありますし、静的解析に載せるためにやっぱりある程度の安定性の確保が必要だということから入っているというお話をしました。

これについても、今まで以上に変形度で評価するようになってきたので、対策工の設置や選定に当たって、土層構成とか地下水位の把握が今まで以上に重要になってくると考えています。

それと、あとは浸透安全性の確保というのを明確にしたということです。対策工を設置することによって浸透安全性が下がらないように工法を工夫、選定しましょうということです。基本的には裏法に遮水するようなものはあまりよくありません。ただ、実際には用地の制限から矢板等でそれをやらざるを得ない場合もあるので、そういう場合は法尻のドレーン工と併用する等、浸透に対する安全性の確保が必要になってきますというお話です。

最後は今後の課題です。今も改定作業をしているのですが、未解明な問題がまだまだあって、例えば先ほどの液状化判定の話で、深いところは液状化しにくい、実際に液状化は起きていないということが分かりましたが、なかなか液状化判定の方でそれが考慮できていません。「年代効果」と一般的に言われているものや、地震時の外力などの評価、深いところのせん断応力の評価といったものがなかなかうまくできていないので、これは土研としてもぜひ続けていきたい、液状化判定法の高度化というのをやっていきたいと思っています。

それからずっとお話をしてきましたが、今回の改定でかなり精緻に近くはなっています。そうすると堤防とか基礎地盤の土層構成とか、地下水位の調査というのが今まで以上に重要になってきます。ただ、実際は堤防の延長というのは非常に長くて、なかなか調査は難しい。これは我々としても何かいい方法はないかなと思っていますが、合理的に土質構成等が分かるような調査法の開発が必要だということです。

それから、いろいろな対策工があるのですが、やはりコストが高い。今回もかなり合理化をしたつもりですが、それでも安い工法というのはなかなかありません。これは、ぜひ民間の方々も含めて安い工法の開発を今後とも続けていただけたらなと考えています。

今回の「河川堤防の液状化対策の手引き」は土研のホームページでもダウンロードができますので、ぜひ見ていただいて活用していただければと思います。

最後に、まだまだ不明な点や、あるいは実際に運用している中での問題等もありますので、ぜひ土研まで問い合わせをいただければと考えています。

<質疑応答>

質問者1 非常に分かりやすい説明でどうもありがとうございました。

堤体の盛土自体が、砂地盤が潜ってきて、ずいぶ

ん被害があったということは事実だと思いますが、堤体を造る時にはそれなりに締固めをしたいと思います。感覚的にはちょっと締めただけでも液状化というのはしにくくなる印象がありますが、その程度では全く効かないということだと思います。それでも自然の堆積時間に比べるとそれなりに密度が高かったのではないかと思います、そういったことについては何か分かっているのでしょうか。

佐々木 やはり被災した箇所は非常にゆるいです。いろいろと記録を見ると、そういった箇所はまだ人力の時代の施工であったりして、ちゃんと締固めの管理がなされていなかったのではないかと思います。

おっしゃるとおりで、特に堤体の液状化は、締固めればすぐに防げてしまいます。圧密沈下で若干ゆるみはしますが、それほどではありません。今は機械施工ですし、こういった被害を踏まえて国交省の工事の管理基準も上がっています。今まで締固めというのは85%が標準でしたが、こういう被害のために今は90%に上げられています。そのレベルまでやっておけばこういった被害は起きないという話です。ただ、既設の、古い時代につくったゆるい堤防をどうするかが課題だと思います。新設の堤防に対しては確におっしゃるとおりで、ちゃんと施工していれば全く問題はないと思います。

質問者2 スライド100、堤体内の地下水位が非常に重要だということで、降雨を入れてというお話だったのですが、例えば今回の改定でレベル2地震も念頭に置いていくということからすると、レベル2地震が起こる確率に比べても、割とレベル1地震と洪水との複合災害の発生確率というのはそれなりにあるかと思います。水位がかなり鋭敏に効くというお話でしたが、例えばこういう解析で、堤体内の水位が最大になるということ、降雨だけでなく河川の水位が上がっているというような想定をした時に、どの程度の変位があるのかを見る必要性は確率的にどれくらいあるのでしょうか。あるいは、それがすごく効くのであれば、少し気にする必要がある

のでしょうか。

ここから先はまた別の質問になるかもしれませんが、実際に変位があった時どの程度の変位をするのかを計算されているようなスライドがあったと思いますが、実際のところどこまで作れるのか、このマニュアルの中では、どれくらい堤防が沈下してしまうのかを予測する術が、どの程度確からしく用意されている状況なのか、というのを教えていただければと思います。

佐々木 多少誤解を招いたかもしれませんが、このスライド100は雨や河川水位を与えた状態での地震動を想定はしていません。先ほども言ったように、レベル2地震は平時のものしか考えていません。洪水時に地震が来るということは今の指針では考えていないのです。

スライド100はどういう意図かと言うと、対策工を入れたら水位が下がるという効果を見たいので、平時の水位を表現するために模擬的な雨を入れてくださいと言っているだけで、洪水や豪雨と地震を同時に考えているわけではありません。それは指針でもそうになっています。

それで「本当に大丈夫？」と言われると、実際そこはかなり否定的な感じで、浸透流が入っている状態で地震が来たらかなり厳しいでしょうね。結局、ダムになります。これも締固め管理で保つとは思いますが、ダム並み、土で造るならアースダム並みのものをやらないと保たないということになります。ただ、例えば道路の盛土にも、谷埋め盛土という完全に水を背負っているような盛土があって、それに対してドレーンを入れて、法尻の水位をちょっと下げておくと大崩壊には至らないというのが分かっている、こういうドレーン対策をやっていくというのは完全に崩壊を防止はできないにしても、少なくとも多少の水位があった状態でも効果はあると私は思っています。それをちゃんと評価して、設計として見るかどうかは別の話ですが、安全しろとしてはこういうドレーン対策を通常の浸透対策としてやるというのは地震にも効いてくるし、万が一の想定

外に対してもある程度の効果はあるので、こういった対策はやっていった方がいいと個人的には思っています。

質問者2 それから、堤防の高さがどの程度沈んでしまうかということについて、どれぐらい精度があるかについてはいかがでしょう。

佐々木 これは先ほども言ったように、事例について言うと倍半分程度には抑えたつもりですが、結局、そこがどれぐらい揺れるかというのは、地震の発生源の特性もあるし、地盤が決まれば決まるわけではない、地震のたびに違うというのもあるので、本当はなかなか難しいと思っています。

それよりも、結局地盤調査でちゃんとした土質構成が分からない箇所が多い、ということもあります。

質問者3 発表の中で、対策をしていたところでは被害が少なかったということは、本当に我々としても現場で対策をしている人間としてはとてもありがたいことだなと思っています。

それで、先ほどドレーン工の話が出たのですが、スライド46からスライド49に、既設浸透対策工の効果では、ドレーン工、止水矢板については被災が少なかったという話がありました。私が以前現場にいた時に、例えば出水時、洪水時の堤防の安定の関係で、まさしくスライド47の写真にあるようなドレーン工を入れようとしていました。その時に、出水時、河川水位が上昇した時の堤防の安全性の観点の対策が、地震にも役に立ちます、ということを経験的に言えば、より地元にも受け入れられやすいのではと思いました。例えばスライド49の図を見ると、ドレーンを入れたところはほとんど被害がなくて、入れていないところでは被害が多く出ています。だから「洪水にも、地震にも効きますよ」という言い方をするとやはり言い過ぎなのか、それとも、東日本大震災の時、こういった対策をしたところでは被害が出なかった、ということを経験程度に言う程度に止めておいた方がいいのか、そこを教えていただければと思います。

佐々木 その現地の条件にもよりますが、こ

のスライド49の事例では1回地震でやられています。これはたぶん堤体の液状化でやられたかと思えます。そこの復旧をやってドレーンをやったら、次はこの程度で済んだということです。これは原因等にもよるので、例えば水位が堤体の中にないようなところにドレーンをやって、地震に効きましたというのはかなり無理のある話です。

ただ、悪いことではないと私は思っています。ですが、それを言うていくかどうかというのは被災の原因であったり、現地の状況にもよると思いますので。

質問者4 スライド69、ちょっと細かい話で恐縮ですが、締固め工法について、今回は「法尻付近を含めて対策を入れる」ということにされています。これも現場、現場で変わってくると思いますが、この「法尻付近」ということをどの程度厳密に考えたほうがいいのかというところがちょっと引っ掛かっています。

実際の河川の場合には都市部だと法尻が用地境界であることが多々あるので、法尻を含めた形での配列というのは事実上困難だと思います。ですので、実際には「法尻付近」という言い方をしたいと思います。

そうすると、スライド43、裏小段に対策が入っていた鳴瀬川の事例ですが、こういう風に入れられたら設計上はやりやすいのですが、なかなかこれは法尻とも言いにくいという中で、感覚的に法尻というのをどう捉えたらいいのか、どうしても川裏対策には締固めをやりたいのですが、法尻に寄せると45度、影響範囲も出てしまうので、その辺の感覚を教えてくださいたいと思います。

佐々木 それは「付近」としか言いようがないと思います。確かに、この鳴瀬川の事例で「は」が入ってないですね。堤防を痛めつけるのを推奨したくない、というのが裏にはありますが、実際にはやらざるを得ない現場があるので、そこはそれで十分な検討の上行うべきだと思います。場所によっては直下をやる場合も当然あります。実際の事例でもありますし、



当然、堤防をやり直したりということもあります。
だから、「付近」が原則ですが、法尻から中に入っ

てくるのであれば、ゆるんだ範囲をやりかえるとか、そこは現場条件に応じて、問題が出てくる部分に対する対応を考えて検討されるべきではないかと思います。

質問者4 「必ずしも『法尻』と言うわけではないが、堤体を傷めないような処置はちゃんとやっておきなさい」ということですね。

佐々木 あくまで原則ですから、例外はあるとは思いますが、それなりの検討が必要だということだと思います。

(了)

平成27年度
第4回 河川研究セミナー

第1部

河川堤防の被災原因調査と結果の活用について

森 啓年 氏（国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室 主任研究官）

第2部

堤防等河川管理施設の点検と評価について

藤田 正 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 課長補佐）

開催日：平成28年8月25日（木）

場 所：AP秋葉原

第1部 河川堤防の被災原因調査と結果の活用について

国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室
主任研究官 森 啓年氏

森 「河川堤防の被災原因調査と結果の活用について」というテーマで、国総研 河川研究室の森がお話をさせていただきます。

最初にお手元にはないスライドを使って、そもそも被災原因調査とはどういうことをやるかということを見ていただこうと思っておりますので、皆さんこちらのスクリーンの方に注目していただければと思います。

今日お話しする内容ですが、最初に被災原因調査とは一体どういうことをやっているのかについてお話させていただいた後、お手元の資料の方に戻ります。まず、なぜそういう調査が必要なのか、ということ。それから、実際の被災調査について、昨年度、堤防の被災がございました四国の那賀川と、東北の鳴瀬川水系吉田川の被災原因調査の事例を紹介させていただきます。そして最後に、その結果を活用して、今後、国総研や土研が、どのように研究を進め、堤防の技術をブラッシュアップしていこうと考えているかについて、説明させていただきたいと思っております。

まず、最初に「被災原因調査とは」ということで始めさせていただきます。昨年から非常に堤防の被災というものが多くなりまして、私たち国総研、土研の堤防の担当者も、全国にいろいろと調査に行かせていただいています。昨年の7月から、これからご紹介する那賀川で噴砂が起きたり、雄物川水系の県管理の斉内川で越水による決壊が起きたり、あとやはり社会的なインパクトが非常に大きかった9月10日の利根川水系の鬼怒川の決壊、さらにその後も続きまして、同じ雨によるものですが、県管理の河川も相当やられましたし、宮城県の県管理の渋井川



も決壊しております。あわせて同じ出水になりますが、これも後ほど紹介させていただきますが、吉田川では樋門周辺の漏水や、堤防の漏水が起きている。さらに少し時間が経ちますが、これも台風の影響によって、網走川水系女満別川とサラカオーマキキン川というところで、堤防の決壊が起きました。

今度は4月16日に、皆さんも記憶に新しいと思いますが、熊本地震が起きました。その際の緑川水系、白川水系の堤防が液状化等によってやられた現場にも行っております。その後、局所的な豪雨が降って、緩んでいた堤防がすべったりということで、再度お邪魔している次第です。

このように過去1年間を見ているだけでも、これだけの回数私たちが現地に行くというのは、はっきり言って初めてのことでして、これまでは年間大体3~4回というところですので、最近が堤防の被災が、こういった顕著なものも含めて、かなり起きているというのが、感覚としてあります。

今日は、鬼怒川の場合と熊本地震の場合では、どのように被災調査を行ったかということについて、これから写真を使ってお話しさせていただこうと思

います。

これは関東地整さんにご提供いただきました、鬼怒川の決壊直後の航空写真です。そして実際に現場に行ったときに撮った写真がこちらです。これは下流側の決壊地点の堤防の断面です。

国総研は研究所とはいえ、今かなり被災対応に力を入れておりまして、この鬼怒川が決壊する前から、かなり水位が高い状態がずっと続いているということで、河川研究部全体が集まって、このように情報収集や分析を進めていました。

このように、すぐ行けるような体制をいつも組んでおります。現地の実際に出水の際は、決壊の水が激しい状態で、なかなか入れなくて、次の日の夜明けと同時に最速で入ったという状態です。こちらはかなり明るさを調整しておりますが、午前5時ごろの現場です。下流側から上流に向けて撮ったところで、こちらが鬼怒川、上流から下流に手前側に向かって流れている。ここは上流側の決壊地点で、ブルーシートがかけてあるのが見えます。こちらは下流側の端っこになります。

そういうところに行って私たちは何をするかというと、基本的に、堤防に張りついて、どういう土でできているか、川の水の流れがどのようになっているか、などについて、調査を行うわけです。ただ、そんなに最先端の機器を使ってバリバリとやるというのではなくて、非常にシンプルに、鉄の棒を差し込む、ジップロックで土を取る、あとは手で直接つかむとか、自分の目と経験を総動員して調査をしていくことになります。

今回、今までのこういう災害調査と違ったのは、やはり鬼怒川は社会的な関心が非常に高く、この調査をしているすぐ脇では、テレビカメラのクルーさんが定点カメラをつけてずっと見ているという状態でした。こういう環境の中で調査をしたのは初めての経験でした。

こちらが上流の方に向かったところですが、こういう形で道なき道といいますか、実際砂防をやられている方からすれば全然大したことないと思います

が、こういうところを歩いて、同じように先ほど説明したような調査を行う。さっき申しました鉄の棒というのはこういうものでして、この先っぽが尖っているのですが、それをブスッと刺して、中の土がどうなっているかなどについても調べる。一番役に立つのが鉄の棒だというローテクな状態ですが、ある程度の情報は得られます。

先ほど決壊地点をお見せしましたが、鬼怒川では他の地点でもこのように大量の噴砂が起こっていたりもしますので、これについては日を改めて同様に被災調査を行っておりまして、高い水位が続いた箇所、堤防がどのようなストレスを受け、どのような反応をしたかについて、しっかりと調査を行っているところです。

その他に今回鬼怒川で特徴的だったのは、マスコミ対応があったということがあります。インタビューを受けているのは当時の服部室長です。この「メ〜テレ」という目立つヘルメットは名古屋のテレビ局です。名古屋のテレビ局が被災の翌日にパッと飛んできて、朝8時半ごろからインタビューが始まったということですから、その辺からも関心が高かったのだということがうかがえます。

このような調査をやる、最初の短期的な目的ですが、それは復旧をどうするか、今後の詳細な調査をどのように行うかについて検討するため、できるだけ早く現場に入って、いろいろと見させていただくというのが最初の目的になっております。

これと同様のことが熊本地震でも言えるかと思えます。熊本地震は、前震が4月14日にあり、本震はそのほぼ1日と少し後、4月16日に起きています。それも前震の直後から情報収集を始めまして、次の日の朝一に現地に飛びまして、午後には現場にいたという状態です。ですから、本震が起こった際には、久留米のホテルの中でした。非常に強い揺れで恐怖を覚えたところです。

こちらは本震が起きた後の阿蘇大橋の近くの斜面です。崩壊した土砂が白川に流れ込んでいるということで、その辺の様子について確認に来たときのも

のです。

先ほど写真で丸を示していましたが、このように斜面の上などから流況を観察させていただいた次第でございます。

それと同時に、やはり私は堤防の技術者ですので、一番よく見なければいけないものが、こちら緑川の堤防の液状化によって被害を受けた箇所です。比較的下流の方、緑川が画面の左から真ん中に向かって流れているところですが、道路が液状化によって割れてしまっていて、一部沈下が起きているという状態が見てとれました。

そのほか熊本地震の緑川や白川の被災の特徴としては、特殊堤の区間での被災もかなり見られたということです。こちらはすぐそこがもう海ですが、その部分のパラベット堤防が、これも液状化が原因だと思われるのですが、完全に傾いている状態で、まずどういう補修をすればいいかなどについて、現地で議論したところです。

他には、こちらは白川の樋門のところですが、周りが液状化により沈下したため、樋門・樋管が抜け上がって、このように地割れが見えている状態がありました。こちらは緑川の樋管ですが、このように門柱の部分に周辺を囲むようにクラックが生じてまして、後から聞いたところによりますと、やはりもう座屈まで行って、完全に補強・補修しなければいけないと聞きました。河川構造物でここまでの被害を受けるのは非常に珍しいことですので、当時現地は非常に強く揺れたということが言えるかと

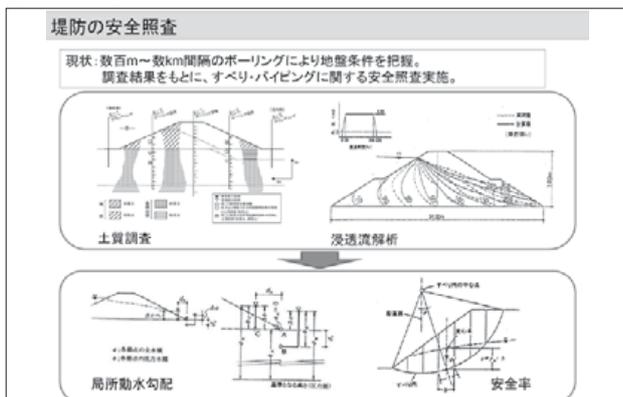
思います。

先ほども申しましたが、このような調査を行う最初の目的は、短期的にはどのように応急復旧を行い、本復旧に向けてどのような調査を行うかということも検討するためになります。しかし、もっと長期的には、堤防というものの技術をどのように向上させ、信頼性を高めていくかということに繋げていかなければいけないということがございます。これまで私たちの反省で、被災が起こって堤防が壊れた場合、それを直した段階で、「これで一安心だ」と思考停止していたところが正直あると思いますが、これからの時代、しっかりとそういうものの教訓を生かして、技術を向上させていかなければいけないという趣旨で、きょうは全体のお話をさせていただきたいと思います。

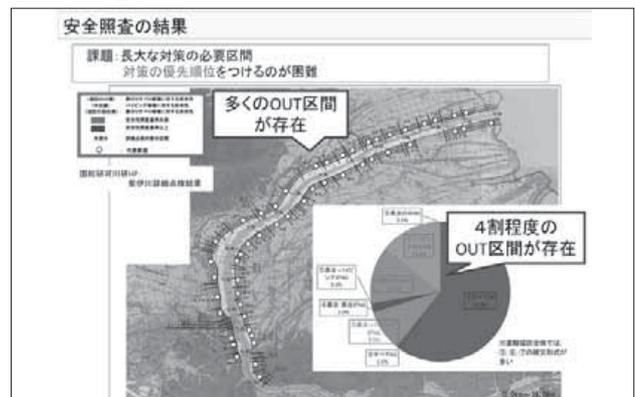
では、こちらからはお手元の資料を見ていただければと思います。そもそもなぜ被災原因調査が必要かということです。皆さんよく御存じかと思いますが、堤防の安全性照査自体、数百m～数kmピッチのボーリングによって地盤条件を把握して、その結果を浸透流解析や円弧すべりの解析に入れて、それでアウトかセーフか決めているのが現状でございます。(スライド1)

そうした結果が、この中国の斐伊川の図面になります。(スライド2)こちら一番川側の線が表法のすべり、真ん中がパイピング、裏法が裏法のすべりの安全性を示しておりまして、赤いところが要対策と判定されたところでございます。これを見ていただ

● スライド1



● スライド2



くとおわかりになるとおり、非常にアウトの区間が多い。それは斐伊川だけでなく、全国的に見ても、今回この詳細点検を行った箇所のうち、その4割程度のアウト区間が存在するということが分かっております。そこで、どこから手をつけていくかということがひとつ大きな問題かと言えます。

そのように4割もアウトになってしまうひとつの要因としては、被災の進行過程を、今の地盤工学ではなかなか定量的に評価することができないということが挙げられます。今の基準は、スライド1に示したとおり、例えばパイピングの局所動水勾配の基準でしたら、砂が噴くかどうかという基準でやっておりますし、すべりの方では、これは円弧が比較的大きいですが、小さなすべりも拾ってしまうと、非常に安全率が下がるという特性があります。そういうところで、最初の現象をキャッチするというので、安全側に評価しているというのが、今の堤防照査の実情です。かといって決壊に至るかどうかも評価するというのは、今の地盤工学ではとても無理ですので、そういうのもあって4割のアウトという結果に繋がっているのではないかと考えています。

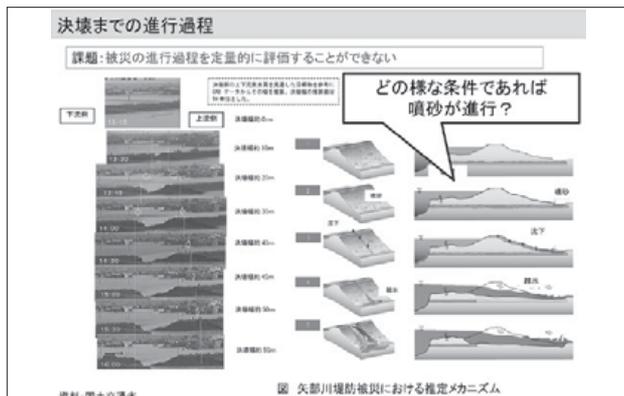
例えばこちらは矢部川の平成24年の決壊のメカニズムの図になります。(スライド3)噴砂が発生して、それがどんどん進行し、堤防が沈下し水が越え、決壊に至った、ということが、委員会の報告で述べられています。ではそこでどのような条件であれば、水田で見つかるガマで終わるようなものと、矢部川のように決壊するものとに分かれるかということ

が、今は定量的には説明できないというのが、技術的な限界でございます。

先ほど申しましたように、今の基準というのはパイピングとすべり、別々の判定基準で示しておりますが、こちらは平成25年の子吉川の堤防の被災でございます。(スライド4)このように大体範囲としては60m位の区間にわたってすべりが見られまして、あとここに白いものが見えるかと思いますが、これがいわゆる釜段や月の輪を示していますが、ここでは噴砂も同時に見られました。その被災箇所について、横断面の開削調査を行ったところ、非常に興味深い現象が見られました。このようにすべった土砂の下から下の砂が突き刺さるようになってくる。それで被覆土層が破れているというようなことが見てとれまして、今まで別々に考えていたけれども、実はすべりと噴砂は連動して起こる可能性もあるのではないかと考えております。その辺についても、先ほど定量的に進行過程を示すことができないと申しましたが、今の地盤工学の限界を示していて、これもなかなか説明しづらいところがございます。

そもそも堤防の難しさというのは、これも皆さんよくご覧になっているかと思いますが、堤防というのは歴史的な構造物で、だんだんと拡張を繰り返しながら強化してきたものです。それから土自体もそれぞれの施工時のものを反映して、バラバラのものを使っていたり、その当時の施工法などが反映されたもので、そういう意味での横断面の複雑さという

● スライド3



● スライド4



ものは、もうこれまでずっと言われてきたことです。

ただ最近私たちは、それに加えて縦断的な複雑さというものを非常に問題として考えております。(スライド5) こちらは先ほどご説明させていただきました矢部川の決壊のところですが、噴砂が進行して決壊したとメカニズムを説明しましたが、決壊の原因になった砂層が存在している領域は、幅でいいますと大体130mぐらいの範囲でしかありませんでした。今の堤防の安全性照査というものが、数百m~数kmピッチでボーリングを行っているということですから、こういうのをキャッチするのはかなり難しいというのが今の実態かと思えます。

あわせて子吉川の被災についても、こちらはすべった60mの範囲だけ地面がちょっと低くて、さらに被覆土層も周り比べると半分以下だったというのが、後から調査すると分かりました。こういった弱部をどのようにキャッチして堤防を強くしていくかというのは、非常に大きな問題と考えております。ですから、皆さんに覚えていただきたいのは、堤防の問題というものは、こういう風に横断面の難しさだけではなくて、長手の構造物ですので、縦断方向もしっかり考えていかなければいけない。ということが、今、国総研の中で議論されている内容です。

こういう難しい堤防をどうしていきべきなのかということを考えまして、例えば普段からよく見ていれば、被災の予兆がわかるのではないか、ということで、こちらは普段の巡視や点検で見つかる変状の位置と、実際の被災が起こった履歴です。(スライ

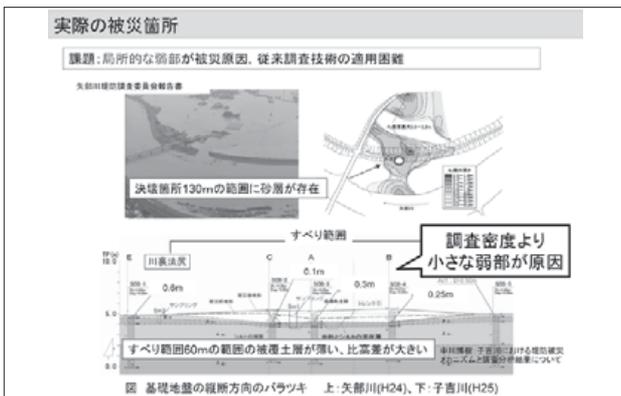
ド6) 紫の×が被災でして、青い○・△がそれぞれ巡視・点検で見つかった変状です。こうして見ていくと、被災の分布と変状の分布はなかなか違うということが分かっていただけるかと思えます。ですから、普段せいぜい雨や交通ぐらしかストレスがかからない常時と比べて、出水がある洪水時には、堤防はかなり違う挙動をするのではないかということを考えている次第でございます。

そういう中で、このスライドを新たに追加させていただいたのですが、大事なことは次のスライドに全部書いてありますので、まずスクリーンをごらんください。

私たちが昨年度から今年度の初めに行いましたのは、被災箇所とその近傍の被災していないところを調べて、それを相互に比較することで、一体何が被災の有無に効いてくるのかということについて調査をしたのが、先ほど申しました那賀川と吉田川の事例になります。それは後ほど詳しく紹介させていただければと思います。

そこで実際何をやったかといいますと、まず現地踏査とあわせてLPデータの分析で、堤防の形状を連続的に把握しております。併せて、ちょっとこれはチャレンジングだったのですが、UAVの高解像度の画像を使いまして、視差画像から微地形をもう少し詳しく見られないかということにもチャレンジしています。それらを経て、現地では一番被災しそうな断面を選んで、ボーリングを3点、いわゆる詳細点検のやり方をやるとともに、縦断方向に法

● スライド5



● スライド6

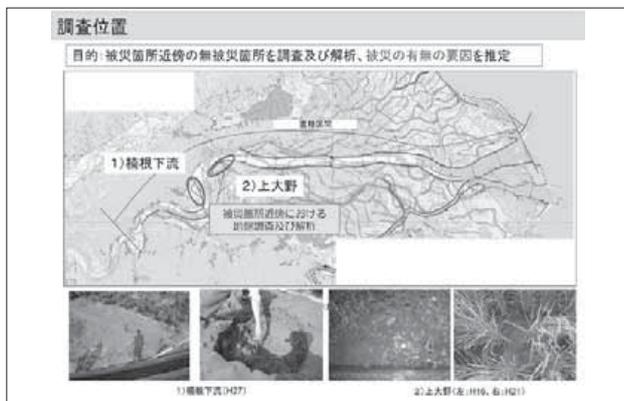


尻にサンプリングを5点打っています。そうすることで何が違うのかを明らかにしようと考えました。その他、現地透水試験や簡易サンプリングなどを行い、土質試験を経て、浸透流解析を行って、実際の被災が再現できるかということについて試みた事例です。

では、早速ですが、那賀川の事例から説明させていただきます。(スライド7) 那賀川は皆さんよく御存じのとおり、礫質な基礎地盤の上に堤防が造られているというのが大きな特徴です。

それはこの治水地形分類図を見ていただくとお分かりのとおりで、旧河道が全体にわたって広がっておりまして、それを締め切るような形で堤防が築堤されている。ですから、出水があったりすると、漏水が何カ所も見られる。今回、昨年非常に大きな漏水とともに、噴砂によって陥没まで見られた箇所、楠根下流というところと、あと濁りはあまりなかったのですが、上大野というところで見られた漏水箇所について、被災があったところとなかったところでは、

● スライド7



● スライド8



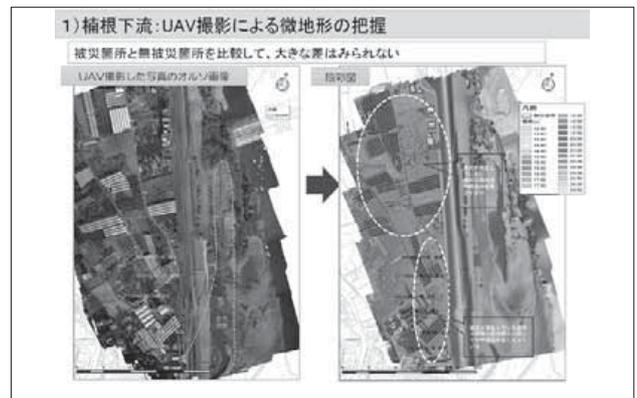
一体何が違うかということについて調べています。

まず、楠根下流でございます。予備調査ということで、過去の航空写真の変遷を見ています。(スライド8) 先ほど申しましたように、那賀川は旧河道が入り組んでおりまして、こちらの箇所も実際昔はこういう形で川が流れていたと思われます。それが、だんだん滞筋がこちらに向かって寄って行って、最後には堤防をつくって、それを締め切ることでコントロールしているような地盤だということが、航空写真からも読み取れます。治水地形分類図だと、一部が「旧河道」と書いてあるだけで分かりにくいですが、実際航空写真等を見ていくと、この地域全体が旧河道扱いでもいいのかなと感じます。

こちらはUAV撮影で微地形の分析をやったものです。(スライド9) 残念ながらそんなに差は出てきませんでした。要するにもう全体が旧河道で、ある特定のところだけが低いとか高いということは被災区間でも無被災区間でもなかったというのが実情です。実際ちょっと見にくいですが、噴砂が見られたのはこちらの下側でして、上の方は全く噴砂や漏水が見られなかったところでした。見ていただくとお分かりになるとおり、差を見付けろと言われても、結構辛いところがあります。

こちらがLPの連続的な分析です。(スライド10) 連続的といっても4m間隔で必死に読んだのですが、平均法勾配と平均動水勾配、それから堤内地盤高についてプロットしたものがこちらになります。これを見ていただくと、実際に被災があったこの区間に

● スライド9



比べて、漏水のひとつの目安と言われている平均動水勾配は、被災していないところの方が逆に高くなっています。だから、堤防の形を見ているだけでは、なかなかこの噴砂というものは当てられません。そこで地盤を調べるしかないということで、特に堤防の平均動水勾配が高いところを選び、法尻の部分に簡易サンプリングを5点打ちました。

こちらがそれを先ほどのUAVの映像に重ね合わせたものになります。(スライド11) 昔、詳細点検の段階で、こちらの被災箇所のおすぐ近くの方は、既に調査が行われていますので、今回は漏水がなかった地点について、ボーリングを3点打っています。併せてこの緑色の三角の点に先ほど申しました簡易サンプリングを打ち、どのように基礎地盤が異なっているのかについて見ています。

では、早速結果を見ていきたいと思います。(スライド12) こちらが簡易サンプリングの結果になります。赤い範囲が漏水や噴砂が見られた区間、青い範囲が見られなかった区間です。こうして見ていた

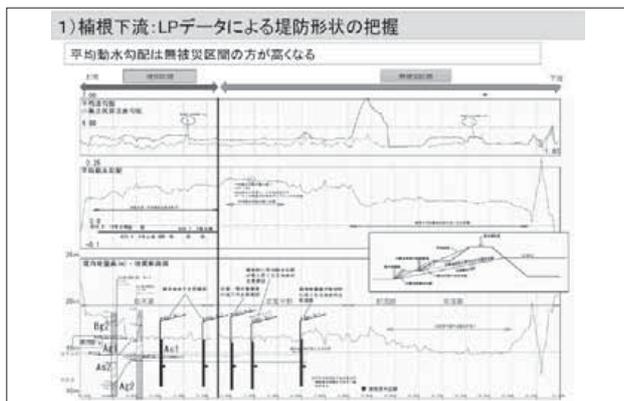
だと、この紫の楕円で囲んだところに、Ag1-1層といわれる、 $10^0 \sim 10^1 \text{cm/s}$ という非常に高透水の礫の層がありました。被災していないところはそういうのがなくて、 $10^2 \sim 10^3 \text{cm/s}$ でとどまっている。こういう高透水層が漏水やパイピングに影響したのではないかと考えております。

ボーリングの結果なども反映させた横断面図がこちらになります。(スライド13)無被災の箇所が上の図、先ほども申しました高透水の層がないものです。下の図が被災箇所ですが、高透水のAg1-1層が、こちらに位置しておりまして、こういう風に伝わった水圧が法尻部で上に向かっていくというところが特徴的かと思えます。

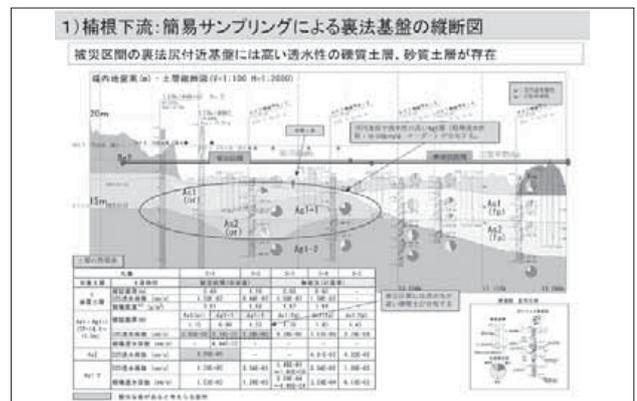
詳細は省きますが、現地の透水試験なども行い、透水係数を把握して解析した結果がこちらになります。外力についても、当時の出水のときの雨と河川水位を入れて判定しております。(スライド14、15)

その結果、無被災の区間については、揚圧力(G/W)についてはセーフでした。一方ここにバイパスのよ

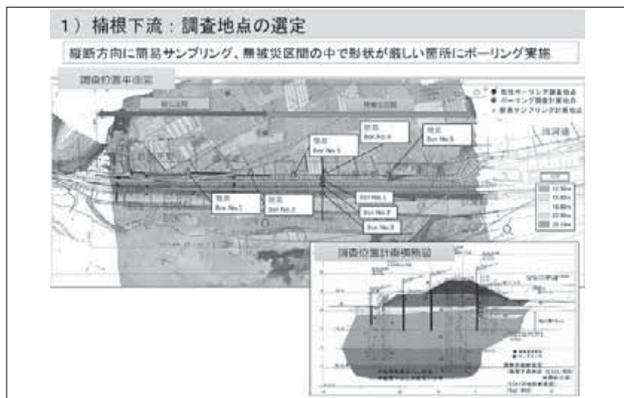
● スライド10



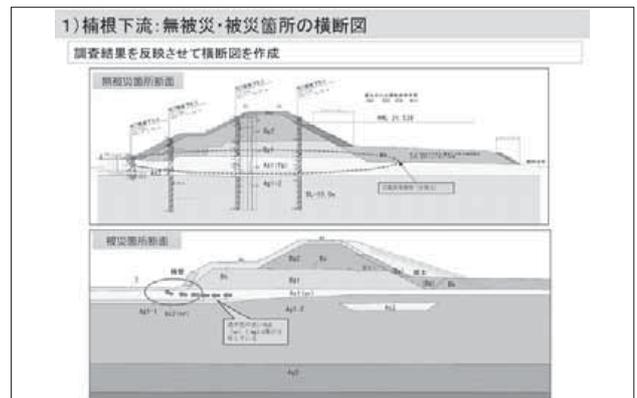
● スライド12



● スライド11



● スライド13



うに高透水の層があるものについては、圧力がなかなか落ちず、出水の上昇とともにアウトになるということが言えます。こういう形で実際に被災を見ると、調べればきちんと説明できるというのが、今の地盤工学の現状だということがお分かりいただけるかと思います。

もう1箇所の、漏水があった上大野地区についても、説明させていただきます。こちらもやはり旧河道の影響が多い地区でして、その周りの扇状地のと

ころを含めて、この丸い点の箇所で見られています。(スライド16)

こちらUAVによって微地形の判読を行いました。(スライド17) その結果、これまで言われていた旧河道の範囲に比べ、低い範囲が下流に向かって広がっているということで、こちらはもう少し旧河道というものを広くとっていいと考えております。そういうのに合わせていくと、ちょうどこの右下の図になりますが、漏水の地点と旧河道の位置がある程度合ってくるということが分かりました。

ただ、ここからが非常に悩ましいところで、先ほどと同じように平均動水勾配、平均法勾配、堤内地盤高について調べたのですが、やはりこっちも被災区間に比べて無被災区間の方が平均動水勾配は大きいような状態でした。(スライド18) そこで、地盤を調べてみれば、きっとこれは先ほどお見せした楠根下流のように、旧河道の範囲が見えるに違いない。そういうのを期待してやってみたのです。(スライド19)

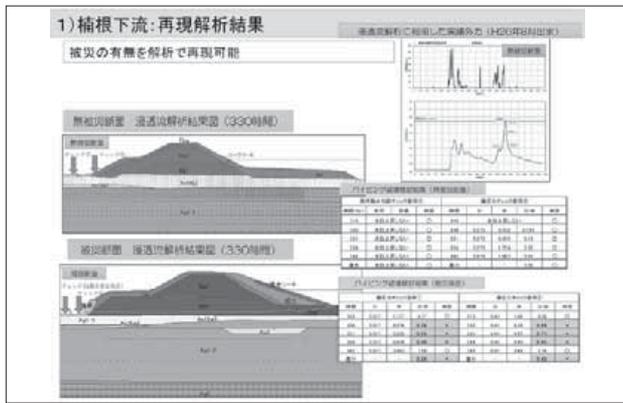
● スライド14

1) 楠根下流: 地盤定数

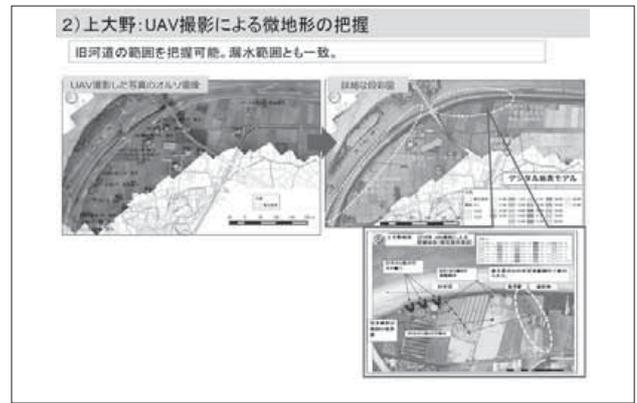
室内試験、現場試験結果を反映

試料名	試料種別	試験項目	試験結果		試験結果		試験結果		試験結果	
			値	単位	値	単位	値	単位	値	単位
楠根下流	砂質土	圧縮係数	0.15	-	0.15	-	0.15	-	0.15	-
		透水係数	1.0	cm/s	1.0	cm/s	1.0	cm/s	1.0	cm/s
		圧縮率	10	%	10	%	10	%	10	%
		圧縮指数	0.4	-	0.4	-	0.4	-	0.4	-
砂質土	砂質土	圧縮係数	0.15	-	0.15	-	0.15	-	0.15	-
		透水係数	1.0	cm/s	1.0	cm/s	1.0	cm/s	1.0	cm/s
		圧縮率	10	%	10	%	10	%	10	%
		圧縮指数	0.4	-	0.4	-	0.4	-	0.4	-
砂質土	砂質土	圧縮係数	0.15	-	0.15	-	0.15	-	0.15	-
		透水係数	1.0	cm/s	1.0	cm/s	1.0	cm/s	1.0	cm/s
		圧縮率	10	%	10	%	10	%	10	%
		圧縮指数	0.4	-	0.4	-	0.4	-	0.4	-

● スライド15



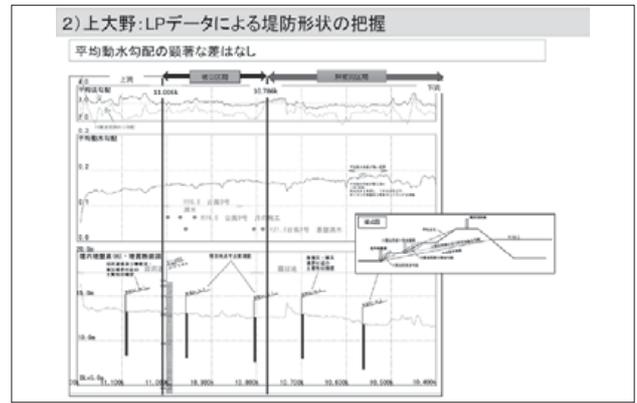
● スライド17



● スライド16



● スライド18



その結果がこちらになります。(スライド20) サンプルを5本、法尻に打った結果です。赤い矢印の範囲が、漏水があった区間になりますが、その区間だけ行き止まりのような埋土が見つかりまして、全く予想とは逆の結果になってしまいました。埋土自体は透水係数がそんなに高くなく、高いところで 10^{-3} cm/sぐらい、低いところでは $10^{-5} \sim 10^{-6}$ cm/sまで達するようなところでした。それで断面を描いたものがこちらになります。(スライド21) このよ

うに無被災のところは法尻に何もありません。一方、被災の箇所についてはこのようにキャップをするような形で透水性が低い土が法尻に存在する。実際に出水があったときは、ここで行き止まりになって、ここで噴き出すか、回り込んで噴き出すかしかなくということが分かりました。

「なぜこんな埋土があるのだろう」と事務所と議論をしていますと、昔水路があって、それを埋め戻したのではないかというような話も出てきて、本当に大体100m弱ぐらいの範囲ですが、このようなものが、漏水の原因の1つになっていました。

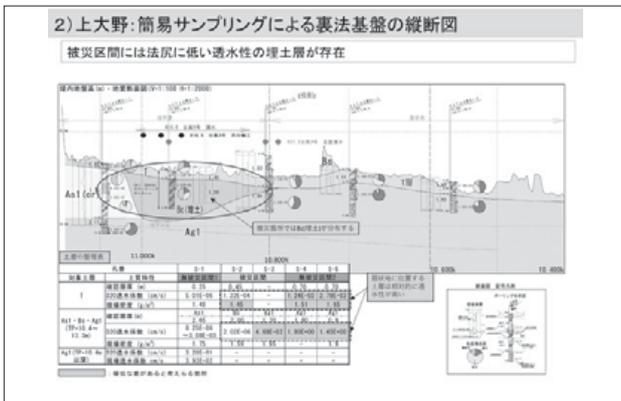
こちらについても同様に、試験を行って解析を回してみました。(スライド22、23) 当時の出水を入れてみますと、無被災区間については被災なし、被災箇所については揚圧力についてアウト、局所動水勾配もアウトというような結果でした。ある程度地盤が分かりさえすれば定量的に説明できるということが、お分かりいただけるかと思います。

最後に一つ、被災原因調査の事例として、今那賀

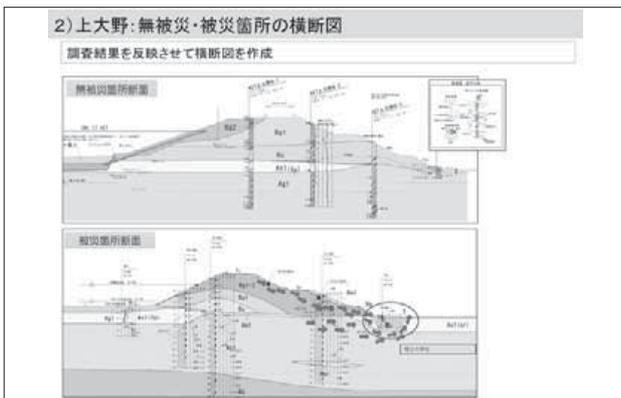
● スライド19



● スライド20



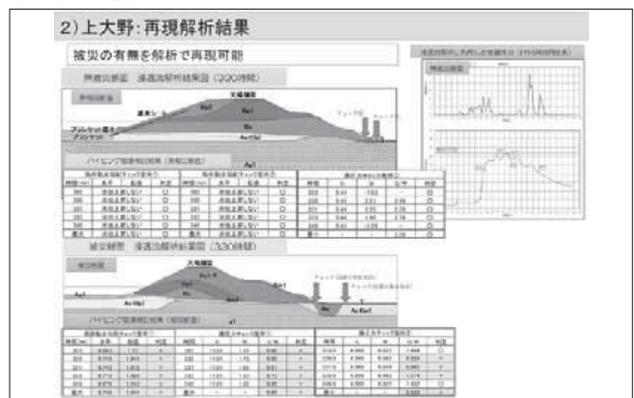
● スライド21



● スライド22



● スライド23



川の事例だけで、他の河川でどうなのかということで、吉田川のお話をさせていただければと思います。(スライド24) 吉田川のところでですが、ちょうどこちらは鳴瀬川がこう流れてくるところで、吉田川がこう分岐して、少し上流側の地点で鹿島台というところがございます。そちらで昨年の出水に伴って、裏法の小段のところでもこのように結構な量の漏水が起こったという事例です。

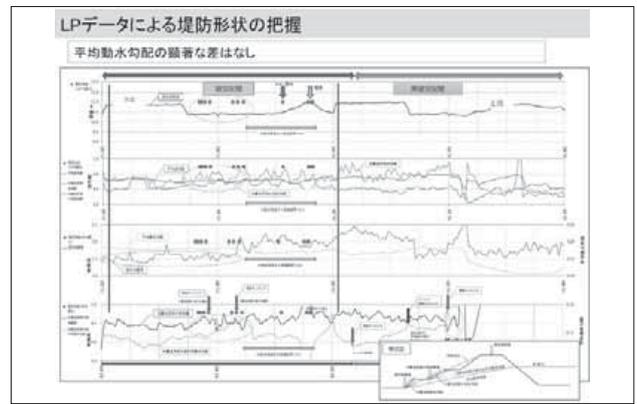
こちらですが、基本的には鳴瀬川の沿川にあると

おり、干拓地の状況でして、過去の写真から見ますと、河道を広げるような対策を行っている。その際につくられた堤防です。(スライド25) 干拓地は非常に平たいので、UAVを飛ばしても、この赤い矢印の被災区間と青い矢印の無被災区間で、全く差が見られないという状態でした。(スライド26) それはLPデータの分析でも全く一緒でした。(スライド27) 先ほどと同じように、法勾配と平均動水勾配の分析を行いました、被災区間と無被災区間については

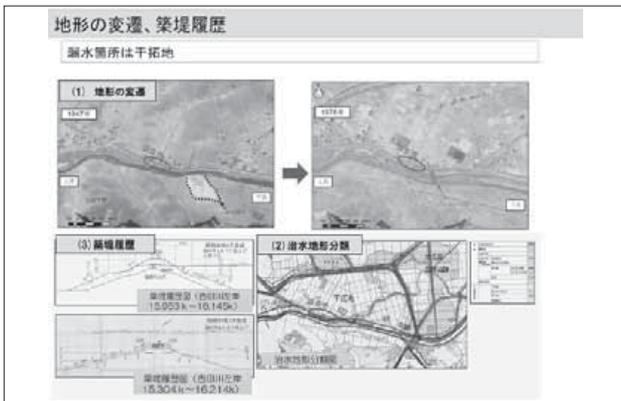
● スライド24



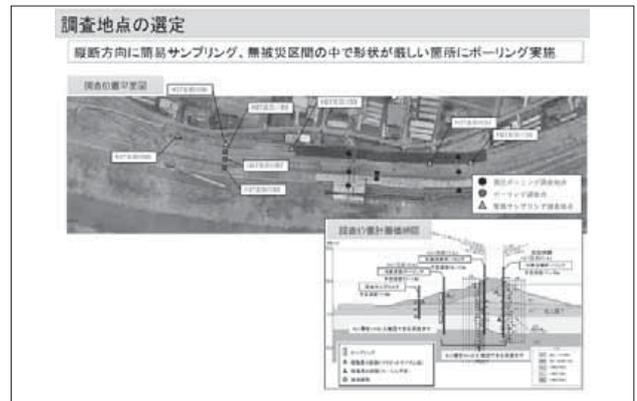
● スライド27



● スライド25



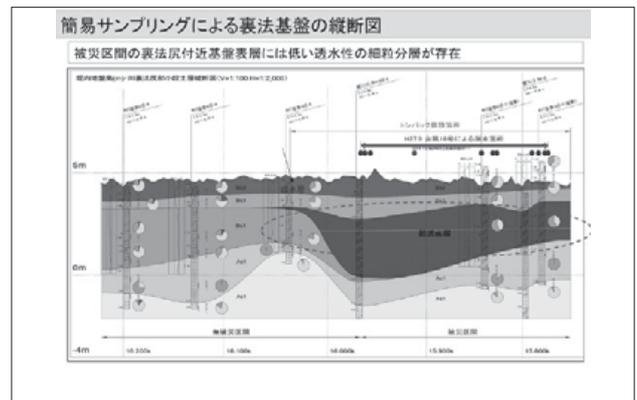
● スライド28



● スライド26



● スライド29

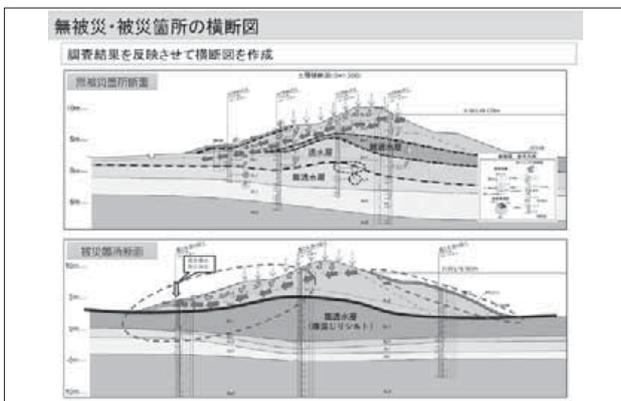


顕著な差が見られませんでした。こちら土質の調査をやるかということで、やった結果がこちらになります。(スライド28)こちらが配置になりますが、赤い矢印の箇所に見られまして、過去にボーリング等の調査をした結果が黒いところ。それを含むような形で、簡易サンプリングを裏法尻に打っています。併せて比較的堤防が薄いようなところを選び、ボーリングを3点打って堤防の調査を行っております。

やはり調査をすると差が分かってくるのですが、赤い矢印の被災地点に、難透水層が比較的浅い領域にあるというのが分かってきました。(スライド29)

それを同じように横断面で示したものがこちらです。(スライド30)無被災の箇所は基礎地盤が基本的には透水性で、水が入ったときに下に落ちていってくれるようなところになっていますが、被災箇所はこのように難透水層が地表まで出てきているので、入った水の逃げ道がなくて、こういう形で小段や法尻で出るしかありませんでした。

● スライド30



● スライド31

地盤定数

室内試験、現場試験結果を反映

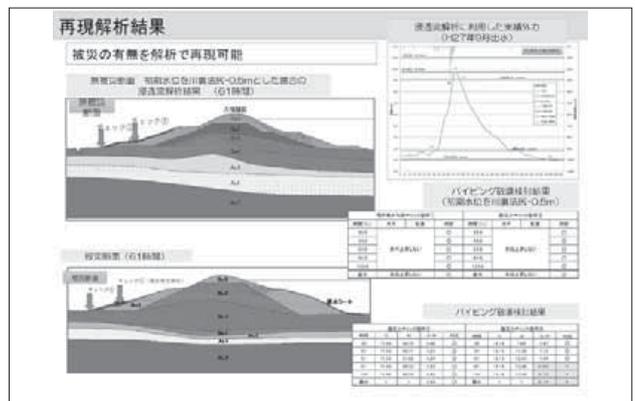
No.	位置	試験種別	試験項目	圧縮係数		圧縮率		圧縮率		圧縮率		圧縮率	圧縮率
				初期	最終	初期	最終	初期	最終	初期	最終		
1	被災箇所	圧縮試験	圧縮率	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25
2	被災箇所	圧縮試験	圧縮率	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25
3	被災箇所	圧縮試験	圧縮率	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25
4	被災箇所	圧縮試験	圧縮率	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25
5	被災箇所	圧縮試験	圧縮率	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25
6	被災箇所	圧縮試験	圧縮率	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25
7	被災箇所	圧縮試験	圧縮率	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25
8	被災箇所	圧縮試験	圧縮率	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25
9	被災箇所	圧縮試験	圧縮率	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25
10	被災箇所	圧縮試験	圧縮率	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25

こちらについても同様に解析を行っています。(スライド31、32)初期の地下水位だけ現地に合わせてのですが、そうすることでこのような堤体の漏水がある程度追えるということが分かってきました。

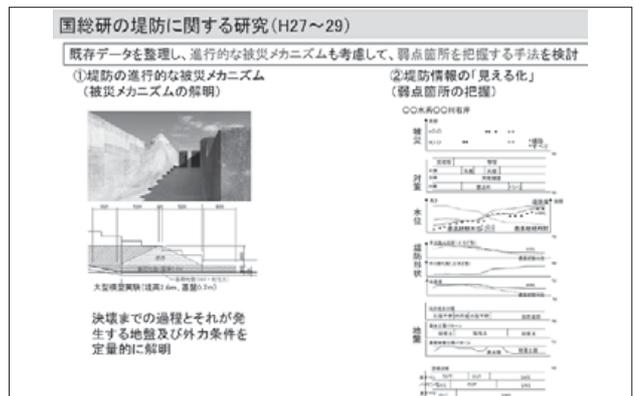
このように現地の調査を見てきて、被災の有無というものは、ちょっとした縦断方向の地盤条件の違いで起こったり起こらなかったりということが、おわかりいただけたかと思います。その結果を私たち国総研や土研がどのように活用していくかということ、結論代わりに今からお話しさせていただきます。(スライド33)

今まで堤防の研究というものは、どちらかといえばどのように被災するかという、被災メカニズムの研究が非常に主を占めていたかと思います。もちろんそれについてはこれまでの蓄積も生かしながらやっていきたいと思っております。1つは先ほども申しました、堤防の今の基準というのは、ちょっとしたすべりや噴砂をキャッチするように、安全側にできているが、それをもう少し精度よくできない

● スライド32



● スライド33



か、決壊までのプロセスも考えて、定量的に評価できないか、という研究を行っております。国総研、土研の大型模型実験等で、明らかにしていこうと考えております。

もう1つが、もう少し縦断方向のデータを大切にできないかと考えておまして、今流行りの「見える化」としてここでは載せておりますが、堤防概略点検というものをもっと活用できないかということについて、取り組んでいるところでございます。

まず被災メカニズムの研究についてです。(スライド34) 国総研、土研の大規模実験とともに、効率化を図るために80cmぐらいの高さの堤防を用いた小規模実験、それから法尻だけ切り出したような中規模実験も行いまして、どういう地盤条件でどういう水位だったら進行的に一気に決壊まで至るかということについて、研究を行っております。

今回何本かムービーを見ていただこうかと思えます。基礎地盤がこういう堤防のこれが法尻だと思ってください。そこに水槽があって、水圧が直接かけられるようになっています。その下には基礎地盤の砂層などを置いているのですが、砂層が1層の場合と比べて、このように下に透水性が高い地盤があって、上に低い地盤があるようなものでは、かなり進行性が異なるということがわかってきております。(スライド35)

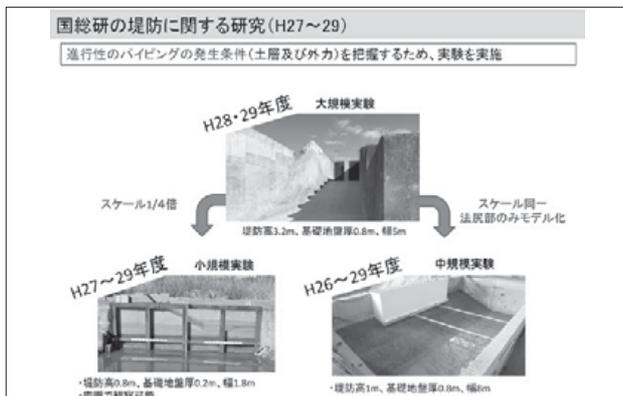
まずケース1は、砂層が1層だけかんでいるような状態です。これは水位を上げててもなかなか変位が起きずに、堤防の方が先にぐずぐずと崩れ出してき

て、最終的には破壊に至ったということが見ていただけるかと思えます。後ろの白いところが水槽ですが、その水位を上げていくとどんどん漏水が始まっていった、噴砂が起こるかなと思っていたのですが、その前に堤防が水圧で押し出されるような形で出てきて、決壊に至る。

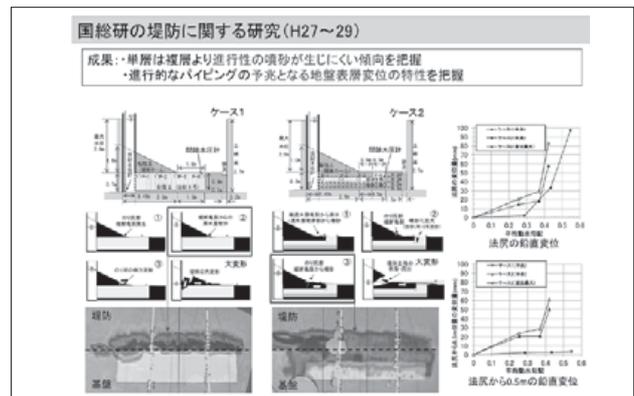
それに対してもう一つのケース2、こちらは下に透水性が高くて上に低い地盤があるような場合ですが、こちらは地面が下から盛り上がるような形で決壊に至ることが見ていただけるかと思えます。こちらの現象ですが、先ほどの単層の場合に比べて、水槽の水位は比較的低い状態で起こります。このように決壊まで至るような大きな被災が起こるということは、それなりの地盤条件が必要でないかということ、今仮説を立てております。

スライド35に戻っていただきたいのですが、今は計測技術等も相当発達しておりますので、レーザスキャナを使って、そのときの地面の膨らみぐあいを図化したのがこちらになります。左側が単層の場合でして、法尻がかなり膿んできているのを見てとれるかと思えます。一方、こちらの低い水位で決壊に至るような現象が見られる2層の場合につきましては、堤内地の地盤全体が膨らむような挙動が見られます。こちらがそのグラフになりますが、紫の線が単層の場合で、なかなか変位が見られずに、ある程度大きくなったらゴンと行く。こちらの複層の場合は、少しの水位でどんどん膨れてきて、比較的低い水位で決壊まで至ってしまう、ということで、明確

● スライド34



● スライド35

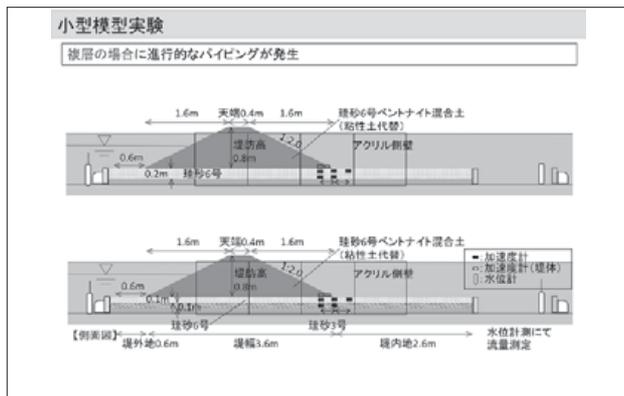


な傾向が見られております。これまでの堤防の巡視や監視という意味では、なかなか目で見えるのは難しいですが、機械などを上手く使うことで、危険箇所を低い段階で察知できないかとか、そういうことも含めて、今、国総研・土研で検討しているところです。

こちらがもう1つ、最近やった実験でございます。(スライド36) 先ほどと同じ基礎地盤が1層だけの場合と、下に透水性が高い層がある場合についてですが、このように小さいとはいえ堤防の形をつかって実験をやった場合でも、同じ傾向が見られました。複層の場合の決壊時の映像を見ていただきたいのですが、実験の処理についてはもう少し工夫が必要かなと思っていますが、奥の壁の方から漏水が始まり、それがだんだん加速してきて、ある程度進んだ段階でまさに下から湧き上がるような漏水が起こってきます。時々ゴロゴロと転がっていくのは、下に敷いていた関東ロームや堤体の一部が噴き出しているものです。下が抜けてしまうと、上から下に垂直に沈んでしまうような現象が、実験により確認できました。これまでのパイピングの実験というのは、なかなか起こすのが難しくて、水みちを人為的につくって、限界動水勾配などを見つけてきたという経緯がありますが、今回、このように土層を工夫することである程度コントロールして、実験でパイピングを起こせるようになったというのは、地盤工学の大きな進歩ではないかと思っています。

もう一度映像を見てください。これは現実の5倍速でやっています。ここから漏水がだんだんと進ん

● スライド36

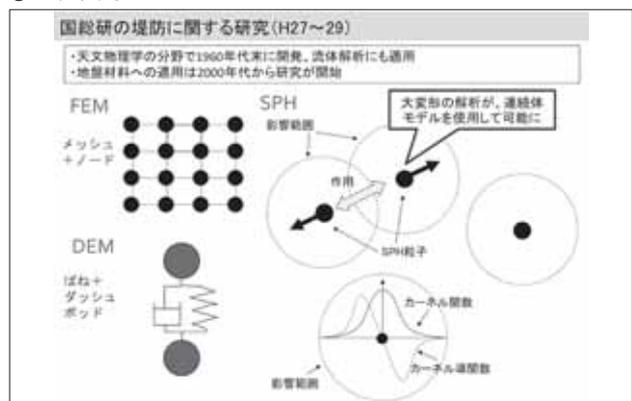


できて、それがどんどん広がってくる。穴が開いてここで一気に噴くのかと思ったら、今度はもう地盤自体から全体が湧き上がるような状態になって、それとともに堤防が真下に向かって沈んでいくという現象が見てとれるかと思います。

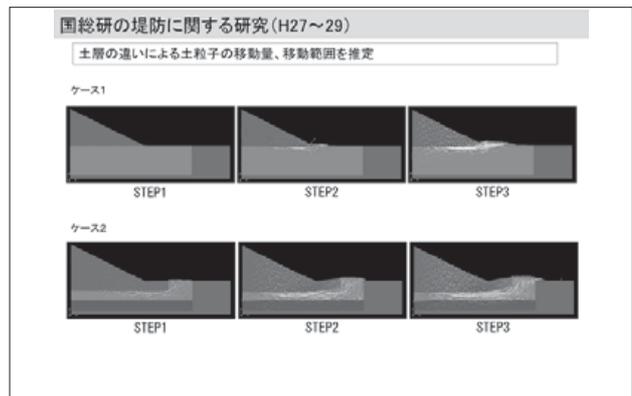
そういう現象をどのように定量的に評価していくかということで、今、国総研の方で取り組んでおりますのは、今までのFEMやDEMと言われる一般的な解析手法に比べて、土の大変形を追える解析手法ができないかということで、SPHという、天文学分野で、銀河系の衝突をシミュレーションするために開発されたものですが、それを適用できないかということについて取り組んでおります。(スライド37)

こちらが先ほど見ていただいた法尻の単層の実験と複層の実験に、先ほどのSPHという解析を行った結果です。(スライド38) その当時の水位を入れて水圧をかけてやると、単層の場合は堤防のすぐ下を土が動くような感じで、あまり移動量も大きくない

● スライド37



● スライド38

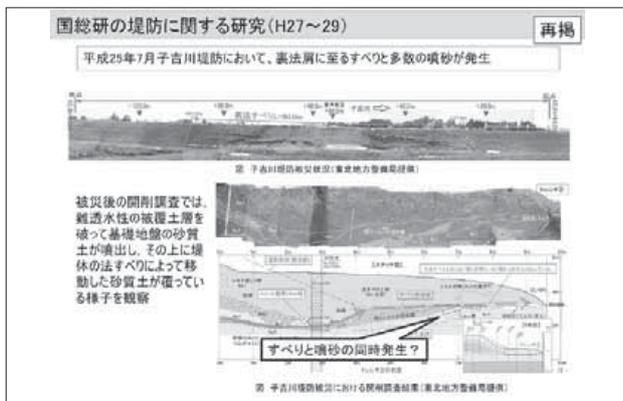


ですが、複層になることでその移動範囲が一気に増えるということが見てとれるかと思えます。こういった研究を積み重ねながら、定量的にどう説明していくかということが今後の課題です。(スライド39、40)

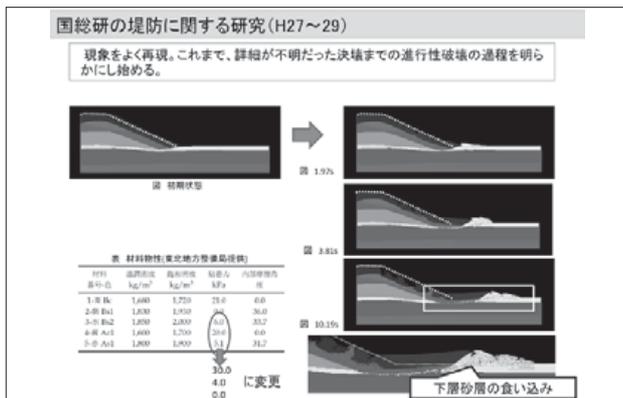
先ほどもお見せしました子吉川の被災事例で、このように下の砂層が食い込んでいるのが非常に珍しいというお話をさせていただきましたが、それについてもSPHでは再現できるということが分かっています。

こちらがアニメーションになりますが、すべる際に下に圧力がかかっていて、それを巻き込むような形ですべったらあのような形の被災が起こるということが分かっておりまして、実際の崩壊の土砂の流動も、これぐらいの範囲でおさまっていますので、比較的再現性は高いと考えています。こういった研究を積み重ねながら、できるだけ進行的なメカニズムを定量的に説明できないかということについて、実験と解析、両面から、それから大学の先生への委

● スライド39



● スライド40



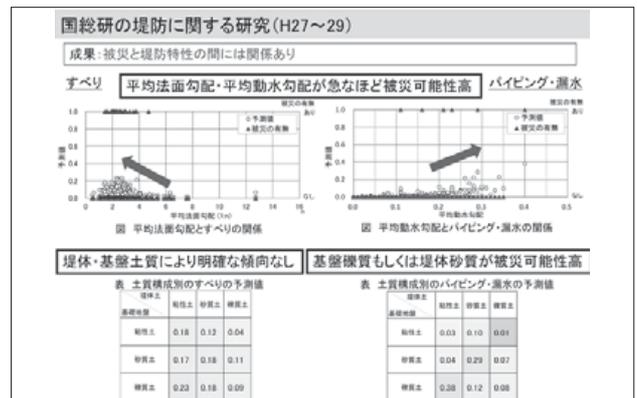
託研究なども含めながら、ご協力いただいで取り組んでいるところでございます。

もう1つ、「堤防情報の見える化」(弱点箇所の把握)についてはデータの整理を幾つかの河川を選んで始めています。また、それとは別に、一体どういところで被災が多いのかという堤防特性との関係の分析も行っています。(スライド41) こちらはロジスティック回帰という解析手法を使った、堤防の法面勾配とすべりの被災の発生の関係性と、堤防の平均動水勾配とパイピング・漏水発生の可能性です。これは縦に高い方が発生の可能性が高いということですが、こうして見ていただくと、当たり前のことですが、すべりというのはやはり急傾斜の堤防で多い、パイピング・漏水については薄い堤防で多いというのが顕著に出ています。すべりは、ちょっと意外だったのが、堤体や基盤土質により明確な傾向があまり見られませんでした。一方、やはりパイピング・漏水については、基礎地盤の透水性が非常によく効いてくるということが分かっています。

また、今までの被災の蓄積というものが、「漏水」とだけ書いてあるものや、「堤体漏水」というものも含めて分析しておりますので、堤体が砂質の場合も漏水の可能性が高いというような分析結果が出ています。

こういうのを蓄積していくことで、例えばこういうデータを整理したときに、この箇所は危ないからもう少し詳しく調査した方がいいとか、そういう絞り込みに使えないかということを考えております。

● スライド41



これは最後のまとめになりますが、進行的な被災メカニズムの研究と、こういう堤防情報の「見える化」をどのように橋渡ししていくかというのが、今、一番重要だと思っております。こちらでこういう地盤条件は本当に危なくて、矢部川のように決壊に至ってしまうというのが分かれば、「見える化」でできる限りそれを把握して、必要であれば追加の調査を行う必要があると思っております。ただ一方で、堤防は直轄だけで1万kmを超える延長がございますので、それを全部調査するのは無理な話です。そういう中で、この沿川の中で例えば5%とか10%だけでも、「ここは特に危ないから調査が必要です」など、そういう形での絞り込みができないかということについて、ここ1~2年で取り組んでいく予定にしています。

その際にはもちろん新技術である物理探査が使えるか、あるいは先ほど現地の調査で使っていましたが、ボーリングに比べて数が打てる簡易サンプリングを上手く使えないか、さらに出水時に弱点箇所、すぐパイピングを起こすようなところは、膨らみが違うと申しましたが、そういうものも併用して、弱点箇所を浮き彫りにできないかということを考えております。

実際に、那賀川の最初に見ていただいた事例については、沿川をずっと平均動水勾配を並べてみますと、被災箇所・無被災箇所については、平均動水勾配に差はなかったのですが、流域全体として見た場合は、平均動水勾配が一番厳しいところで漏水や噴砂が起こっていることが分かりましたので、そういった今ある情報を上手く使って、地盤調査の間を埋めていきたいと思っております。

最後に、お願いになりますが、こちらに出席されている方には、コンサルさんで知った方のお顔もよく見られますが、物理探査や調査技術などを開発される際には、「こんないい技術ができました」という段階で留まるのではなく、先ほども申しました堤防縦断方向の土質の把握の難しさなどを鑑みていただいて、「これぐらいの密度でこら辺を調査すれ

ばいいのではないかと。そういうのにこの技術が使えます」というところまで想像力を働かせてやっていただくと、現場も使いやすくなるのではないかと感じている次第です。もちろん国総研や土研も連携して、ギャップを何とか埋めていこうとしておりますので、皆さんのご協力もお願いできれば幸いです。

以上で私からの発表を終わらせていただきます。ご清聴ありがとうございます。

<質疑応答>

質問者1 堤防の方で実務をやっている者としては、どこが危ないのかが集約できると、より管理にも便利になっていくと思います。ただなかなか難しいという話をされておりましたが、今後どういふところを重点的にやっていくと現場がより楽になるかについてのヒントになるようなことがあれば、教えていただければと思います。

森 それこそまさにこの間を埋める一番のキーになるものだと思いますが、まだこれが絶対正解だというのはないところでもあります。

こちらの堤防の情報の「見える化」という意味では、これまでと大分変わってきたのは、例えば堤防の形状やLPデータをうまく使うことで、今までの200mピッチの管理から連続的な管理にもやっていけると、かなり密に情報がとれる。ではそうなってくると、一方地盤情報自体は数百m~数kmピッチです。それをどう埋めていくかと考えたとき、やはりまずは堤防の薄いところや高いところに着目するのが、ひとつの道かと思っております。それが非常にシンプルで分かりやすいと思います。その先、例えば河川によってはそういうのではまったく分からないというところもあるかと思っておりますので、そういうものについては引き続き研究を進めていきたいと思っております。

質問者1 ありがとうございます。特に堤防で、500mピッチや200mピッチで、堤防の地盤のデータ



をとっておりますが、その間はどうなっているか分からないという部分のデータを、何らかの形で埋めていくと、現場の方で今後絞り込みがしやすくなる。そういったデータの蓄積もやはり大事だということでしょうか。

森 まとめていただいてありがとうございます。まさにそのとおりでして、ここで重要なのが、埋めていくにしても、最後に申しましたとおり、堤防の延長は非常に長くて、全部調査するのはそもそも現実的でないところがありますので、どの部分を埋めていくかという、まずその絞り込みが非常に重要だと思っております。その点が今回のこの研究の一番のキーになると。調べて分かりさえすれば、最初に3つの事例を説明させていただきましたが、今の地盤工学の枠の中である程度説明はつくというのが、私が持っている感覚です。

質問者2 今日はどうもありがとうございました。いっぱい聞きたいことがあります、2つに絞って言います。

1つは、那賀川と吉田川の事例で、堤体の形状ですね。この1つ前のスライドで、最後にまたまとめてお見せいただきましたが、法面勾配や平均動水勾配は関係ないですというお話があったのかなと思ったのですが、それをもう少し解析し直されたのですか。それで関係ありますよというお話であれば、そこはどういう差があったのかという話が1点です。

もう1つは、基本的には治水地形分類図はすごく重要だと思います。それで旧河道は多分最初に注目するところだと思いますが、今日の森さんのお話だと、旧河道はもう少し広いのではないかという話が

ありました。その辺はこれから見る時にどういう風に見ていけばいいのか、もしご提案がありましたらお願いします。

森 ご指摘ありがとうございます。おっしゃるとおり、被災区間の周辺数百mを見るだけでは、平均動水勾配、法面勾配、あまり差が見られなかったというのが今回の事例でございます。ただもう少し視点を広く見てやると、流域全体の中では堤防が薄かったかもしれないというところがあります。それはスケールの問題だと思います。実際にその流域の中で、特に厳しいところで、その中でも地盤的に弱いところが最初にやられるということだと考えておりますので、全体の傾向を見る流域全体の話と、あと個別の箇所を見ていくところというのは、少し違う眼鏡で見ていかなければいけないと思っております。

2つ目ですが、旧河道についてはやはり、被災が見つかる「これは旧河道だからね」というのがよく使われる言葉ですが、旧河道といっても千差万別だと思いますし、最初の事例では、治水地形分類図では旧河道はピッと描いてあるだけですが、川の先生に見ていただくと、「これは全部旧河道じゃないか」というような話もあります。やはり旧河道というところで思考を停止するのではなくて、どういう旧河道か、とか、2つ目の現場で実際は旧河道が原因ではなくて、埋土でしたというようなお話もさせていただきますましたが、もう少し考え方を深めて、詳しく調査すべきところはする必要があるのではないかと思っております。

ちなみに、言っておりませんでした、最初のこちらの被災箇所ですが、漏水が見られたのは、基本このように山付きの区間から出てきて、その直後です。こういうことは河川の先生からすると非常に明確らしいですが、例えば洪水のときに、ここに粗い粒径が集まるのではないか。下流に行くほどそんなに粗い粒径にならないので、漏水がここに集中しているのではないかと聞いたことがあります。

質問者3 「常時の点検結果をもとに、被災を予測するのは困難」(スライド6)というのがありました。

そうかなという気もしますが、そのパワーポイントに、常時というか出水後の巡視・点検だと思いますが、ではここにプロットされた変状は、もっと高い水位がもっと続いたら、大変状に至るのか至らないのか、どう扱えばいいのか。それから今後、出水後の点検をやって得たデータの使い方はどうするのだろうかというのを、これもまた真剣に考えないといけないのではないかと思います、その辺はどういうお考えか、教えてください。

森 ご質問ありがとうございます。まずここでいう巡視というのは大体1週間に2回程度行っている車による巡視です。点検というのは年に2回、出水期前と台風期前に行う目視による点検です。これらのデータにはいろいろなものがプロットされています。例えば巡視で見つかったものでも、不法投棄だとか、そういうのはもちろん省いております、いわゆるクラックややすべりなど、そういうものに絞ってプロットしています。

それに対して×の方はパイピングとかいろいろ書いてありますが、実際の出水があったときの被災履歴です。私自身の考えといたしましては、巡視や点検のデータというものは、出水が来たときに堤防が万全の状態でしっかりと洪水に耐えられるようにするために、損傷をなくすためのものと考えています。

1つ目の質問の趣旨をもう一度お願いできますか。

質問者3 これをどう活用するかということです。

森 どこの箇所から補修していくかに使用するのが一番シンプルな使い方と考えております。

質問者3 分かりました。

質問者4 今日のご説明の中で、この事例は両方とも多分旧河道抜いのところの現場で、やはり感覚的なところで旧河道が危ないという意識の中で、例えば楠根下流とか、全体の中で旧河道が合流するところとそうでないところ、それで先ほど森様からのご説明にありましたような、埋め立てられた土の種類や深さについて何か、例えば、特にコンサルタントとして、現場でよく発注者様から「どこから手をつければいいのか」と相談されますが、何かそういっ



た新たな知見といいますか、例えば「旧河道でも土質変化をこうしたパターンの調査が必要です」とか、例えば「旧河道でも、合流点からこれくらい離れたら、過去の事例から見て、ある程度被災が少なくなってくる」というようなご意見があれば教えていただければと思います。

森 ご質問ありがとうございます。その段階になると調査地点が絞られた状態だと思います。今私たちが、一番関心があるのは、先ほどの質疑応答でも申しましたが、そもそもどこを調査すればいいかわからないというところから始めて考えていきたいと思っております。

今お見せした事例の裏法のサンプリングは大体80m位のピッチで打っています。今回は3事例だけですが、そうすることである程度のそういう地盤の均質性というものは、被災につながるものについてはキャッチできるということが分かってきました。今年も別の河川で調査をしますので、どれぐらいのピッチであればそういうのがキャッチできるかなど、そういうのもまた皆さんと共有させていただいて議論させていただければと思います。

心配なのは、ややもすると細かくやればやるほどいいというので、キリがなくなるということとして、その辺は、「もうこれぐらいやれば80%とか90%はキャッチできるよね」というところが、何とか言えればいいと思っています。

第2部 堤防等河川管理施設の点検と評価について

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
課長補佐 藤田 正氏

藤田 今ご紹介いただきました河川環境課の藤田と申します。今ご案内いただいたとおり、本来であればここに新しい室長になりました佐藤が来る予定だったのですが、皆様も御存じのとおり、昨日まで出水対応、また台風10号が来週また関東に向かってきていて、その後処理と準備ということで、本日は代理として、私の方から説明させていただきたいと思っておりますので、よろしくお願いたします。(スライド1) 本日は、「堤防等河川管理施設の点検と評価について」ということで、これまで要領の検討を進めてきた内容について、説明をさせていただきます。

まず検討の背景、それと河川管理の現状、評価の考え方と今後の展開という順番で、説明をさせていただきます。

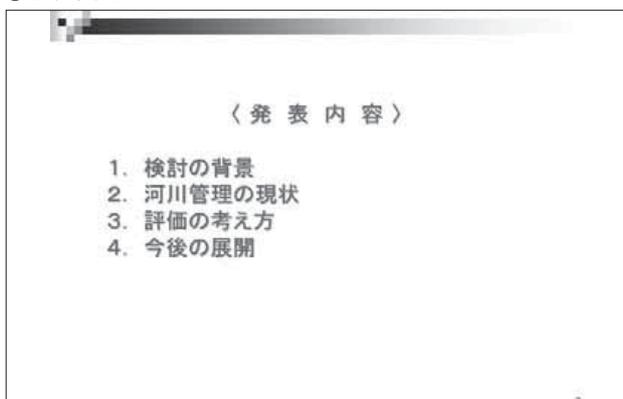
まず検討の背景としましては、皆様も御存じのとおり、平成25年6月に河川法が改正されました。(スライド2) 河川管理施設の維持・修繕ということが、河川法の目的として明確に明記されたということになります。その中に維持と修繕に関する技術的基準を設けなさい、その技術的基準には、点検に関する



ものも作らなければいけない、ということが法律に明確に定められました。これを受けて、点検と評価について、技術的基準の検討を進めてきたということです。

その法改正に合わせ、政令の改正も一緒に行われました。(スライド3) この政令の中で技術的基準を定めなさいということになっています。まず1項のところでは、日常の巡視や除草など、維持修繕的な日常的な維持管理という部分が定められまして、2項から点検の関係のことが定められてきています。2項ではまず目視その他の方法によるということで、目視での点検というのを基本としましょうと

● スライド1



● スライド2



いうこと。3項では、年に1回以上の頻度で点検しましょうということ。4項の2号では、技術的基準については、国土交通省令で定めましょうということで、この施行令の中で定められてきています。

それを受けて省令の中では、技術的基準としまして、まず対象施設として、基本的には「ダム」、「堤防」、「可動堰」、「堤防が存する区間に設置された水門、樋門その他の流水が河川外に流出することを防止する機能を有する河川管理施設」ということで閘門や陸閘、これらのものを点検の対象としましょうということが定められました。(スライド4)簡単に言うと、高水敷が広いところの低水護岸などは入っていないというのが、わかりやすいイメージかと思いません。堤防に設置されているもの、壊れると流水が堤内地に溢れて重大な被害を及ぼすもの、というところを対象としているということです。

法律の中で基準を作ってきたと点検を行っていきましょうということが決まったのと併せて、国土交通省の審議会の中での答申となりますが、地方公

共団体への支援という形での情報提供、および施設の健全度の「見える化」を推進すべきであるということが言われました。(スライド5)点検・診断結果を国民に公表していきましょう、ということで、これから作る点検・評価要領については、ただ単にこれまでの国で行うものではなくて、やったものを全て国民の方々に見えるように進めていきましょうというのが、省の方針として平成25年12月の答申に定められているということでございます。

さらに平成27年3月には河川砂防技術基準が改定されました。(スライド6)細かいところまでは説明しませんが、基本的には大きく①から④まで、中長期的視点に立った維持管理計画、さらには長寿命化計画等を定めて、メンテナンスサイクルを構築しながら進めていきましょうということです。特に③では、「状態監視保全」「事後保全」に移行していきましょうということが、砂防基準の中にも定められています。これまでは「時間計画保全」として、何年経ったらこういうことをしましょうというので、

● スライド3

2)維持又は修繕に関する技術的基準等(河川法施行令)

(河川管理施設等の維持又は修繕に関する技術的基準等)

第9条の3 法第15条の2第2項の政令で定める河川管理施設又は許可工物(以下この条において「河川管理施設等」という。)の維持又は修繕に関する技術的基準その他必要な事項は、次のとおりとする。

- 一 河川管理施設等の構造又は維持若しくは修繕の状況、河川の状況、河川管理施設等の存する地域の気象の状況その他の状況(次号において「河川管理施設等の構造等」という。)を勘案して、適切な時期に、河川管理施設等の巡視を行い、及び草刈り、障害物の処分その他の河川管理施設等の機能(許可工物物にあっては、河川管理上必要とされるものに限る。)を維持するために必要な措置を講ずること。
- 二 河川管理施設等の点検は、河川管理施設等の構造等を勘案して、適切な時期に目視その他適切な方法により行うこと。
- 三 前号の点検は、ダム、堤防その他の国土交通省令で定める河川管理施設等にあつては、一年に一回以上の適切な頻度で行うこと。
- 四 第二号の点検その他の方法により河川管理施設等の損傷、腐食その他の劣化その他の異状があることを把握したときは、河川管理施設等の効率的な維持及び修繕が図られるよう、必要な措置を講ずること。

2 前項に規定するもののほか、河川管理施設等の維持又は修繕に関する技術的基準その他必要な事項は国土交通省令で定める。

● スライド5

(2)河川管理施設毎の点検結果等の公表

「今後の社会資本の維持管理・更新のあり方について」答申
(平成25年12月 社会資本整備審議会・交通政策審議会)

第3章 戦略的な維持管理・更新に関する基本的な考え方

第1節 国の責務

(中略) 国は所管する全ての社会資本の維持管理・更新の観点から、自ら管理する施設の維持管理・更新にあつては、全ての管理者の模範となるよう率先として体制を整え、必要な取組を行うとともに、地方公共団体や民間事業者が管理する施設の維持管理・更新の観点から、地方公共団体や民間事業者が管理する施設の維持管理・更新の観点から、地方公共団体への支援等を実施すべきである。

2. 国民の理解と協力の促進

(中略) 国は、地方公共団体や民間事業者が管理する施設も含めた社会資本の健全性の実態の公表や、的確な維持管理・更新の重要性に関する情報発信を積極的に実施すべきである。また、管理者は、維持管理の実施状況や施設の健全性等の実態についての「見える化」を進捗させるべきである。

第4章 戦略的な維持管理・更新のために重点的に講ずべき施策

1. 施設の健全性を正しく着実に把握するための取組

(1) 全ての施設の健全性を正しく着実に把握するための仕組みの確立

・健全性を正しく把握するため、その考え方(健全性評価を行う頻度、対象施設、部位、方法、指標等)を定めた基準等について、整備・見直しを進捗させる。

(2) 施設の健全性等及びその対応方針の国民への公表と国民の理解と協力促進

・社会資本の管理者は、その管理する施設の健全性等に関する点検・診断結果を国民に公表する。

● スライド4

3)維持又は修繕に関する技術的基準等(省令)

※1 国土交通省令で定める河川管理施設等

- 1 ダム(土砂の流出を防止し、及び調節するために設けるもの並びに基礎地盤から堤頂までの高さがいすゞメートル未満のものを除く)
- 2 堤防(堤内地盤高が計画高水位(津波区間又は高潮区間にあつては、計画津波水位又は計画高潮位のうちいずれか高い水位)より高い区間に設置された盛土によるものを除く。)
- 3 可動堰(上記堤防が存する区間に設置されたもの)
- 4 上記堤防が存する区間に設置された水門、樋門その他[※]の流水が河川外に流出することを防止する機能を有する河川管理施設等

※ 閘門、陸閘、揚排水機場の取排水口等

※2 国土交通省令で定めるその他の事項として点検結果の記録(点検年月日、点検者氏名、点検の結果)と保存

点検には、

自主式構造の特種堰(点検) 点検方法は、

点検方法は、

● スライド6

(3)戦略的な維持管理

「河川砂防技術基準 維持管理編(河川編)(H27年3月改定)」

第1章 総論 第2節 河川維持管理編(3) 戦略的な維持管理

各河川における管理水準を持続的に確保し、中長期的な維持管理に係るトータルコストの削減や平準化を図るためには、河川及び河川管理施設がその本来の機能を発揮するよう持続的に維持管理を行うこととし、状態監視保全への移行や長寿命化対策を講じた戦略的な維持管理を行うことが必要である。

①中長期的視点に立った維持管理の推進

維持管理は長期的視点に立った計画的に取り組むことが重要であり、そのためには、点検結果・診断結果やこれらの詳細結果を踏まえ、施設の長寿命化対策等の維持管理に係る中長期的な対策の策定や見直しを進捗させ、当該計画に基づき対策を実施していく必要がある。

②メンテナンスサイクルの構築

(中略) 点検・診断・評価の頻度に基づき、適切な時期に、必要かつ効率的・効果的に必要な対策を実施するとともに、これらの取組を通じて確保した施設の現状や対策実施等の情報を記録し、定期的・計画的に公表する「メンテナンスサイクル」を構築し、このメンテナンスサイクルを継続的に発展させていく必要がある。

③状態監視保全・事後保全の移行

(中略) 維持管理の対象となる施設について、施設の部材、部局が劣化するに及び維持機能を確保するための計画的な取組を講じた上で、「時間計画保全」すべからず、「状態監視保全」や「事後保全」の進化に向けて移行していく必要がある。長寿命化対策の推進

河川管理施設については長寿命化対策を進めるトータルコストの削減に資する必要がある。特に、従来の維持管理を中心とする施設設備や電気通信設備を有する河川構造物については、新たな技術を開発・導入して状態監視の信頼性を高めることとともに、当該のものに耐久性のある構造・部材・部局を適用していく必要がある。

例えば塗装などはそのように実施してきましたが、そうではなくてきちんと状態を監視して、施設の機能が確保されている状況であればそのままでもいいものもありますし、もしくは壊れてしまってから直してもいいものもあるわけですね。例えば給水系統が2系統あって、1個壊れてもすぐに支障がないものであれば、1個壊れてからでも大丈夫だということになります。そういったものを棲み分けしまして、なるべく長寿命化、コスト縮減にも配慮してやっていきたいと思います。ということで、砂防基準の中にも決められています。ということで、当然点検・評価ということが、それを実現していくためにも重要になってくるわけです。

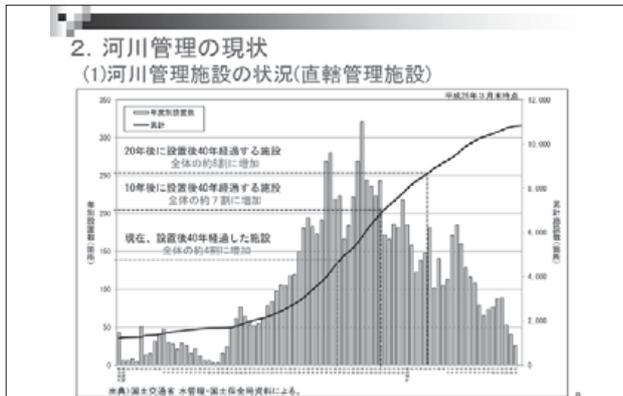
続いて河川管理施設の状況ということですが。(スライド7) 設置後40年経過すると何らかの支障が出てきて、修繕をやっているような施設が多くなるというこれまでの経験の中で、現在直轄の河川管理施設では40年経過した施設が約4割です。高度経済成長期の頃に造ったものが、すでに40年経過してきているということが多くなっています。さらに20年経過すると、これが全体の8割になってくるということで、先ほど言いましたとおり、当然修繕には相当なお金を要しますので、そこをいかに平準化しながら進めていくかということが重要になっています。

それをさらに施設ごとに分けたものがこのスライドです。(スライド8) 上が国の施設、下が都道府県・政令市等の施設になりますが、国の施設としては10,500ぐらい、都道府県・政令市についても32,500ぐ

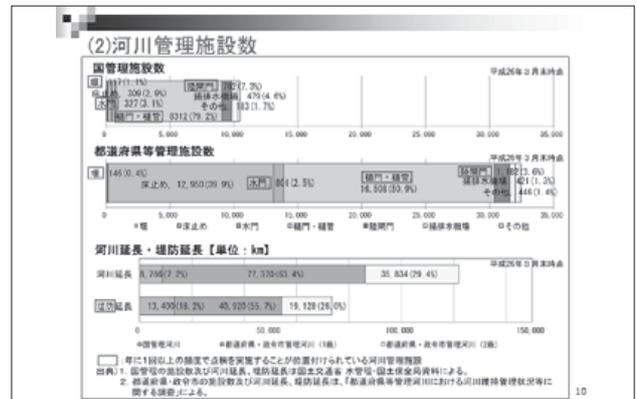
らしい施設があって、それらを今後修繕していかなければいけない。堤防に至っては直轄が13,400km、都道府県と政令市を合わせて60,000kmぐらいで、73,500kmぐらいの堤防があって、その修繕も当然必要になってくるので、点検・評価というのが重要になってきます。

そういった中で、先ほど法改正の話をしました。実は点検要領というのは笹子トンネルの事故を受けて、平成24年5月に作られています。さらに中小河川用としては平成26年3月に作られています。こうして点検はこういう形でやりましょうというのは作られたのですが、それを評価する要領がありませんでした。そこで平成26年度に試行案として、土堤と護岸について、さらに平成27年3月には樋門・樋管についてそれぞれ発出されました。(スライド9) 昨年度1年間は試行を行い、その結果を踏まえて、今回平成28年3月に、全体版となる「堤防等河川管理施設の点検評価要領」ということで、点検要領との整合も図って策定し、今年度も再度試行とい

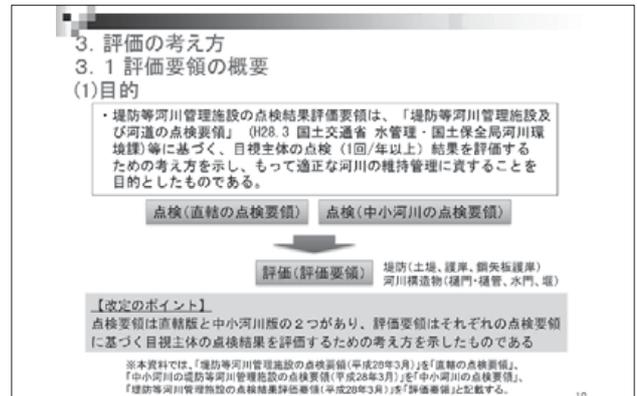
● スライド7



● スライド8



● スライド9



う形で進めているところです。

それから、先ほどまで説明してきましたが、いろいろと管理の内容がございますが、それも今回維持管理計画、それと点検・評価を体系的に整理しまして、それをサイクル型で見直ししながら、維持管理を進めていきたいと思いますというところで、要領の中にも点検と評価、維持管理計画の考え方をこういう形で示しまして、今後、維持管理を計画的に進めていこうというところを示しているところがございます。(スライド10)

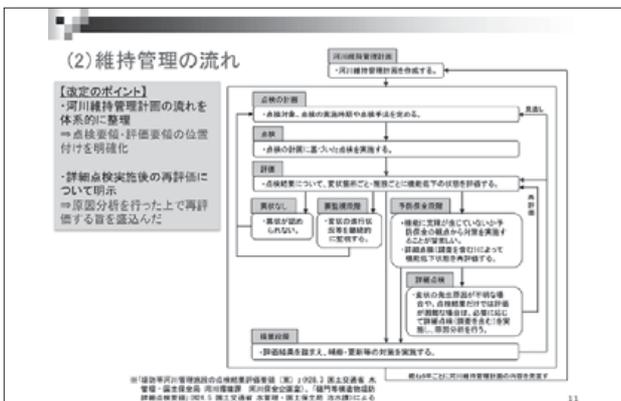
先ほども少し説明しましたが、平成27年3月に作った評価要領は、「堤防及び護岸の点検評価要領(案)」と「樋門・樋管の点検評価要領(案)」という2分冊だったのですが、平成28年3月に改定したものとしましては、「堤防等河川管理施設の点検評価要領(案)」ということで、鋼矢板護岸とさらに水門、堰を加えまして、1冊で整理しました。(スライド11)

併せて点検要領と評価要領の章立てが同じになる

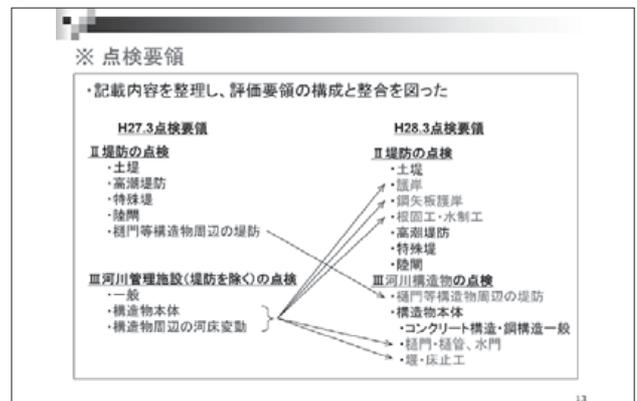
ように、一部点検要領の内容も場所を移動したり内容を書き替えたりしまして、見比べながら作業が進められるよう、全体の構成を含めて見直しをしております。(スライド12)

ここからは評価の仕方の流れになります。(スライド13) 評価要領の中では一次評価と二次評価、それと総合的な評価という形で、3段階に整理しています。先ほど説明を忘れましたが、省令の中で点検については、点検した人の名前を記載することになっています。スライド4になりますが、※2番に、国土交通省令で定めるその他の事項として、「点検年月日、点検した者の氏名、点検の結果の保存」ということで、点検についてはその人の氏名、当然業務で受ければコンサルさんでもその方の氏名が残ります。そうすると、一次評価というのは、多分その点検者が評価する形であると思いますが、二次評価以降は基本的には個人のものではなくて、組織として評価していきましょうということです。ですから、その変状ごとの評価というのが、一次評価と二次評

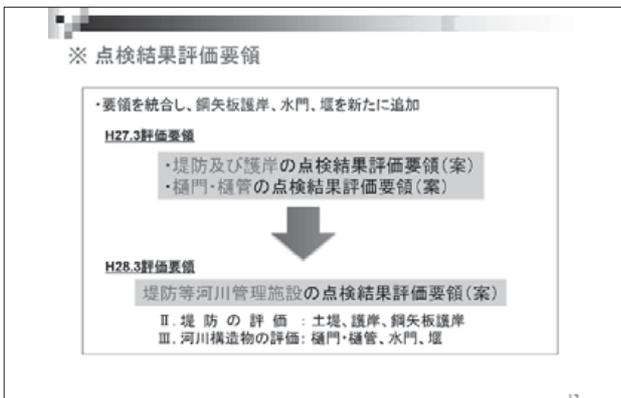
● スライド10



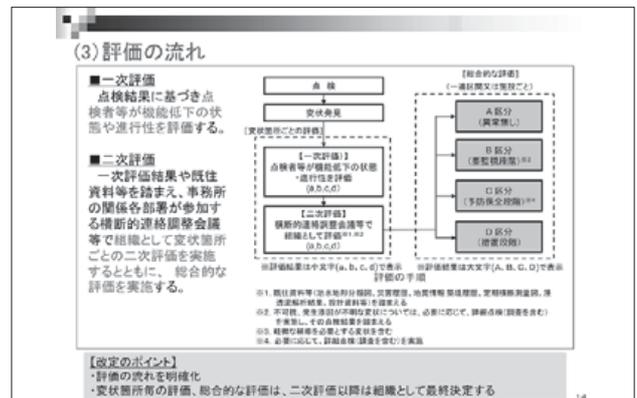
● スライド12



● スライド11



● スライド13



価です。傷1個見つけたら、それを変状ごとの評価とし、それをまず点検した人が一次評価し、それを踏まえて二次評価をきちんと組織として実施する。さらに、後ほど説明しますが、一連区間という形で大きな評価のスパンを決めて、それを総合評価して、その区間の堤防の状態、もしくは施設ごとに、それぞれを4段階に分けて総合的に評価していきましょうということで、整理をしているところです。これは後ほどまた説明しますが、こういう3ステップの流れになりますから、当然、点検及び一次評価で、写真や記録を、後々の二次評価、あるいは総合的な評価のときに、現場に行っていない人でもきちんと分かるよう、上手くプレゼンできるような資料として撮って残しておくことが非常に重要な作業になってきます。

さらに点検評価の際に着目する事象についてです。(スライド14) ただ単に亀裂がある、護岸にクラックが入っているということではなくて、その亀裂がどの位置にあって、どういう状況になっているのか。要は、施設の機能にどういう支障が発生しているのか、あるいはしていないのかということに着目して、そこがわかるような記録を残していくことが重要になるということです。

それと今回の法律改正の中にもございましたが、河川の場合は今回最低年1回点検を実施しなければいけないということです。道路の橋梁やトンネルは5年に1回なので、5年で1サイクルを見ればいいのですが、詳細調査みたいな形で細かくやるのでは

なく、可能な限り目視によって確認できる変状に着目して、それがどういう変状を起こしているのかというところを整理しまして、要領としているところです。当然目視でどうしても困難だということについては、詳細調査を行っていきましょうということで、今回それを明確に定めています。

それからサイクル型の維持管理ということで、これをどういった形でデータとして整理していくのかということについてです。(スライド15) 今回示しているのはあくまでも標準的なものです。全ての河川でこのとおりにくと思いません。当然河川の特徴に合わせて、急流河川、緩流河川、もしくは感潮区間、1つの河川の中でもいろいろ状況が変わってくるので、同じような変状であってもその変状がどういう原因で発生したのか、今後どういう支障を来すのかということを考えながら、場合によっては、後ほど出てきますが、評価する表の内容を河川ごとに変えてもらっても構わないと思っております。ですから、私どもはあくまでも「目安」、案ということで、要領の中にもあえてそういう形で書いているということです。当然これまでの経験というのは各河川であるでしょうから、そういったものも踏まえて、さらには今後蓄積されるデータによって見直しをしていくことも行いながら、臨機応変に対応していただきたいと考えているところです。

変状ごとの評価につきましては、これまでもお示ししておりますが、基本的には4段階で整理しています。(スライド16) ただ河川の場合は道路と違って、

● スライド14

(4)着目する事象

- 点検結果をもとに施設の状態を把握し、その施設に課するべき措置を評価するためには、施設の機能の状態を評価する必要がある。
- 河川管理施設は堤防や基礎地盤等と一体で機能を発揮する構造物であるため、自然物的な要素や不可視部分が多く、目視等による点検結果で機能の維持状態を評価することは容易ではないが、可能な限り目視により変状を確認する。
- 目視での確認が困難な場合(空窠化等)には、必要に応じて詳細調査を行うものとする。
- 詳細調査を実施した場合には、その結果を活用して評価するものとする。

【改定のポイント】
施設の機能に影響を与え、目に見える形で現れる「変状」に着目し、機能の維持状態の評価(点検結果の評価)を行う。
※施設の建設時の状態を基本として評価する。

15

● スライド15

(5)点検結果評価方法データの蓄積について

- 点検者が評価をおこなう上で、評価基準が定量的に示されることが望ましい。
- ただし、堤防は原則として土で作られ、過去幾度にもわたって築造・補修され現在に至っているという歴史的背景を有しており、構成する材料の品質が不均一である特徴を有している。
- また、河川の特徴も河川ごとに異なることから、護岸や樋門等の河川構造物の変状の要因・メカニズム等についても様々である。
- このため、評価基準を定量的に示すことが困難であり、またそれを示すだけの技術的裏付けとなるデータも現時点では揃っていない。
- これまで、『点検者の経験等』に頼って評価してきたことから、当面も経験豊富な技術者による評価を継続し、データが蓄積され分析可能となった段階で、定量的な基準を設けるものとする。

【改定のポイント】
評価要領は評価の考え方を示したものであり、各河川の特徴を踏まえて評価する
※評価要領本文のII編、III編の表は「基準」ではなく「目安」としている

16

壊れたから通行止めする、機能の停止ということができません。変状があったら壊れる前に直さなければいけないので、基本的にはcの予防保全段階で計画的に直していくことになります。dは措置段階ですから、もう既に機能を喪失しているという評価になりますので、すぐに直さなければいけないというような段階として整理をして、大きく4つに分けています。

細かく整理したのが次のページになります。(スライド17) aは基本的には異状なし。bは進行性の支障があるけれども、まだ補修するほどではない。cは先ほど言いましたとおり、もうそろそろ計画的に直していった方がいいというところ。イメージとしては、3年から5年の中で計画を立てて直していくのかなと思っています。それはその河川の予算や状況などをいろいろ勘案しながら行うということになると思います。さらにc段階は、先ほど言いました、この変状がよく分からない、きちんと調べないといけない、どういう要因で発生し

● スライド16

(6)変状箇所ごとの評価区分

- 河川管理施設の機能低下は、不定期な外力(出水等)によりもたらされる場合が多いが、通行止め等の対応が可能な道路や鉄道などの施設とは異なり、河川管理施設はそのラートを停止することができない。
- また、戦略的維持管理として、河川管理施設の長寿命化や維持管理コストの削減を図るために「予防保全」の推進が位置付けられている。
- 下図に示すとおり、河川管理施設の受ける外力は、低頻度の大規模な外力を主な対象としているため、施設の機能に影響を及ぼすほどではないが、進行する可能性のある変状等は、継続的に「監視」を続けておく必要がある。

⇒変状箇所ごとの評価は、変状がほとんどない「異状なし(a)」、機能に支障が生じており、補修や更新等が必要な「措置段階(b)」に、「要監視段階(c)」、「予防保全段階(d)」を加えた4段階に区分する。

区分	
a	異状なし
b	要監視段階
c	予防保全段階
d	措置段階

17

● スライド17

変状箇所ごとの評価区分

変状箇所ごとの評価区分の各段階の状態は、下表のとおりとする。

変状箇所ごとの点検結果評価区分

区分	状態	要修 補修	要修 補修
a	異状なし	なし	なし
b	要監視段階	あり	なし
c	予防保全段階	あり	なし
d	措置段階	あり	あり

【改定のポイント】

- b評価に位置付けられていた詳細点検をc評価に位置づけた
- 進行性の有無でb評価、c評価を区別、機能に支障が生じているものはd評価

18

たのか、というところを詳細点検という形で、ここで再度評価して整理する。dについては、すぐに直さなければいけないということで、出水期前の点検でもし見つかったなら、最低でも応急措置はしなければいけないのがd段階、というイメージを持ってございます。以上の形で4段階を位置づけています。

そして総合的な評価というのは、事務所の関係各課、もしくは組織によっては、点検したコンサルタントの方にも一緒に参加していただくような体制をとっているところもあるかもしれませんが、いずれにしる先ほど言った二次評価、総合的な評価のために、出席していない者にも、きちんとわかるようなプレゼンをするための記録の整理が重要になってくる所です。(スライド18)

総合的な評価は、毎回行うイメージではなく年1回以上、直轄の場合だと点検要領に書いていますが、少なくとも出水期前と出水期明け、大きな出水があればその都度、ということで、その場所をまた見ていただくということになっているので、最低2回は実施していると考えています。それら全てが終了した後、さらにその間、d評価で暫定対策を行ったとか、年度内、例えばその総合評価を12月ごろやるとすれば、1～3月の3カ月で、次の出水期に向けてどういう対策をやっていくかということも含めて、総合的な評価を実施して、次の出水期を迎えるときにどういう体制、どういう状況なのかということを含めて、国民の皆様公表していくということですので、ただ「危ない」ではなくて、そういった

● スライド18

(7)総合的な評価の区分

- 総合的な評価は、堤防等河川管理施設に生じた変状箇所ごとの点検結果の評価に基づき、各施設の有すべき機能状態に着目して実施し、その結果を踏まえて、各河川の堤防等河川管理施設の健全性等の全体像を把握することを目的に実施する。
- 総合的な評価は、評価結果に応じて、迅速又は計画的に対策を実施する必要があるため、1年に1回、当該年度の変状箇所ごとの評価が全て終了した後に、速やかに実施することを基本とする。
- 総合的な評価は、変状に関する調査結果等の既往資料、変状確認後の応急対策等の対応状況等を踏まえるとともに、詳細点検(調査を含む)や今後の対策工事等を合わせて検討する必要があることから、事務所の関係各部署が参加する横断的連絡調整会議等において実施し、組織的な確認を行う。
- 必要に応じて、学識者等の助言や、各地方整備局等の河川部局に設けられている「河川砂防保全技術支援チーム」の技術相談窓口、又は国土技術政策総合研究所等の技術支援を受けるものとする。

【改定のポイント】

- 堤防(土堤・擁岸・鋼矢板擁岸)についても総合的な評価を位置づけた
- 総合的な評価は事務所内の横断的な連絡調整会議等の組織で実施

19

ことも含めてきちんと説明していく必要があるということ考えています。

評価区分については、変状ごとの評価と同じく4段階なのですが、アルファベットの大きい文字と小さい文字で使い分けられています。(スライド19)

総合評価を実施する単位についてです。(スライド20) まず大河川というのが直轄だと思ってください。そして中小河川というのが、都道府県や政令市が管理している河川と思ってください。まず堤防や護岸につきましては「一連区間」という形で、氾濫ブロックや支派川の合流点や山付き堤を考慮して、一連の区間を設定します。あまり細かくなりすぎてもどうかと感じているところですが、全国の河川管理課長会議で議論している中では、イメージとしては5km~10kmぐらいが一つの目安かなという意見はございました。これはひとつの感想的な意見ですが。

場合によっては非常に広大で、一連区間が長くなってしまふ場合がある。関東だと、例えば利根川でいくと、利根川の上流、カスリーン台風の決壊時は全部下まで来たわけですから、江戸川まで全部入って一連区間になってしまいます。そういった場合には何十km、何百kmというのを一連区間として評価するのは難しいので、橋梁や堤内地の状況なども考慮しながら決めていただきたい。構造物については基本的には施設ごと。中小河川につきましては、掘込河道も非常に多いと思いますので、基本的には大河川と同じですが、河川によっては河川ごと、氾濫域がそれほど分かれなない場合もあるので、河川ご

● スライド19

総合的な評価の区分

・総合的な評価区分の各段階の状態は、下表のとおりとする。

総合的な評価の点検結果評価区分			
区分	状態	変状確認	機能支援
A	異状なし	・堤防等河川管理施設の機能に支障が生じていない健全な状態(施設の状態に支障が生じていない軽微な変状を含む)	なし
B	要監視段階	・堤防等河川管理施設の機能に支障が生じていないが、通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(軽微な変状を含む)	あり
C	予防保全段階	・堤防等河川管理施設の機能に支障が生じていないが、通行性がより予防保全の観点から、対策を実施することが望ましい状態 - 詳細点検(調査を含む)によって、堤防等河川管理施設の機能低下状態を再評価する必要がある状態	あり
D	措置段階	・堤防等河川管理施設の機能に支障が生じており、補修又は更新等の対策が必要な状態 - 詳細点検(調査を含む)によって機能に支障が生じていると判断され、対策が必要なものを含む	あり

【改定のポイント】
・変状箇所ごとの評価(アルファベット小文字)に対して、総合的な評価はアルファベット大文字で区別する

とというのも一つの考え方として、要領の中では設定をしています。大きな評価の仕方のところはここまでで、次からはそれぞれ施設ごとの評価の考え方、概要を整理したものです。

まず、土堤の機能ということで、越流防止機能、耐浸透機能、耐侵食機能という機能があり、それに対してその機能の低下を契機として発生する変状を考えたときに、沈下、すべり破壊、パイピングの発生、侵食があるということ整理しました。(スライド21)

その上で、そういった機能低下に対して発生する変状と主な原因をFT図に整理し、それらを評価の項目として、先ほどの4段階を整理して、要領を作成しています。(スライド22)

改定のポイントとして、左下に『①形状の変化』を削除』ということを書いているのですが、実は平成27年3月に発出した最初の評価要領では、①~⑦まで、これは堤防の形状に起因する要因ということで、それぞれ個別に評価した後、それに対してさらに⑧と

● スライド20

(8)総合的な評価を実施する単位

●大河川の総合的な評価を実施する単位
・土堤及び護岸は、氾濫ブロック、支派川の合流点や山付き箇所などを考慮して設定した「一連区間」を基本とする。
・なお、氾濫ブロックが広大であるなどにより、「一連区間」が長大になる河川では、主要な橋梁や堤内地の状況なども考慮した上で、改めて「一連区間」を設定する。
・河川構造物については、河川構造物は土施設、機械設備及び電気通信施設が一体となり機能を発揮することから、総合的な評価を実施する単位は、樋門、水門等の「施設」を基本とする。

●中小河川の総合的な評価を実施する単位
・土堤及び護岸は、大河川と同様の考え方により設定した「一連区間」を基本とする。
・なお、中小河川は、明瞭に氾濫ブロックを分けることが困難な場合もあることから、河川の状況に応じて、土堤及び護岸の総合的な評価を実施する単位を、「河川」とすることができる。
・河川構造物については、大河川と同様に、「施設」を基本とする。

【改定のポイント】
・大河川の場合、氾濫ブロック等を考慮した「一連区間」を総合的な評価単位とする
・中小河川の場合は、総合的な評価単位を「河川」とすることができる

● スライド21

3. 2 土堤の評価
(1)土堤の機能

・「河川砂防技術基準(案)同解説 設計編(1)」の記述内容によると、堤防の主な機能(本来備えているべき働き)は、①越流防止機能、②耐浸透機能、③耐侵食機能の3項目とされている。

基準種名称	記述内容	主な機能
河川砂防技術基準(案)同解説設計編(1)	・堤防の高さおよび断面については計画高水位を対象に算出されるが、一般に堤防は土砂でできているので越流 ^① や浸透 ^② に対して十分な配慮が必要である。したがって余裕高が必要であり、また交通等に耐える安定した断面形状と構造が必要である。さらに流動に対して侵食 ^③ による破壊を防ぐためには必要に応じて護岸(のり工)に埋込め等を加えたもの等を設け、堤防の主要部分は芝等で被覆する。	①越流防止機能 ②耐浸透機能 ③耐侵食機能

機能低下の状態として
・沈下
・すべり破壊
・パイピングの発生
・侵食
に起因した変状を設定

して、総合的な評価みたいな堤防の評価をしましょうという要領になっていました。しかし、平成28年3月の改定でそれは廃止して、先ほど説明しました一連区間を設定した上で、その一連区間の総合的な評価という形で、それは①～⑦だけではなくて、⑫まで含めて行いましょうということ再整理をしています。

判定の目安の案ということで、a～dの4段階の考え方です。(スライド23) 小さくてお手元の資料もなかなか見づらいと思いますので、後ほど帰っていただいてホームページ等で見ていただければと思います。大きなポイントとしては、①～⑦までc評価のところには評価の案がございません。これは土堤の形状に起因するものなので、土ですから経過観察をして待っていただけるかどうかというのがよく分からないところがあって、土の場合は基本、見つけたら直すんだらうということで、c評価は設定していません。ただ絶対設定してはいけないというわけではなくて、河川によってはこれまでの経験から、「こ

ういった状況だったらc評価で監視できる」とか、場合によっては「堤防だが詳細点検が必要だ」と。先ほど森主任研究官からもいろいろ説明がありましたが、そういった現状の中でボーリング調査などが必要だという箇所については、c評価という設定をして検討を進めていただいても構わないということです。

あと、下に注意事項が、※1～4とありますが、特に寺勾配などで気をつけていただきたいのは、本当に法がすべて寺勾配になっている場合と、単純に後から道路が乗ったから、道路盛土の摺り付けで見た目寺勾配になっているようなところがあって、後者は変状ではありません。施工したからそうってしまったという例なので、そういったものも含めて適切に評価をしていただきたいところを、一つ事例として紹介しています。

これら12項目全部の評価を整理した上で、一番右側のブルーのところになりますが、一連区間として総合的に評価していく。

● スライド22

(2) 土堤に発生する変状と評価項目

堤防の機能低下の状態に関連する評価項目として、下記の①～⑫の12項目を設定。

土堤の機能	機能低下の状態	発生する変状 (評価項目)	主な原因		
			洪水 浸水	材料 劣化	その他外力 (地震等)
越流防止機能	沈下	①亀裂	○	○	
		②陥没や不均	○	○	○
		③法崩れ	○	○	○
耐浸透機能	すべり パイピング	④浸透	○	○	
		⑤凍害	○	○	
		⑥凍害防止工の劣化	○	○	
耐侵食機能	侵食	⑦すべり	○	○	
		⑧凍害	○	○	
		⑨凍害防止工の劣化	○	○	
		⑩凍害防止工の劣化	○	○	
		⑪凍害防止工の劣化	○	○	

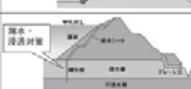
【改定のポイント】
 ・「⑫形状の変化」を削除
 ⇒総合的な評価に移行
 ・植生の異常を侵食(ガリ)と統合
 ⇒裸地化の原因として表現を統合

● スライド24

3.3 護岸の評価

(1) 護岸の機能

・「護岸の力学設計法」の記述内容によると、護岸の主な機能(本来備えているべき働き)は、耐侵食機能とされている。
 ・また、施工実績より、堤防への浸透を防ぐ目的(耐浸透機能)で設置される護岸もある。

基準名称等	記述内容
護岸の力学設計法 第1章目的と性能 概説	・護岸は、堤防および洪水河岸を洪水時の侵食作用に対して保護することを主たる目的として設置されるものである。 
なし (施工実績)	・施工実績より、堤防への浸透を防ぐ目的(耐浸透機能)で設置される「漏水・浸透対策護岸」もある。 

● スライド23

(3) 土堤の点検結果評価の判定目安(案)

土堤の変状箇所ごとの点検結果の評価を実施する際の判定の目安は、各河川の特성에応じて、河川ごとに設定するものとする。参考として、既往文献やこれまでの河川管理施設の維持管理の実績を踏まえて設定した判定目安を下表に示す。(以下、全ての施設等に共通する。)

変状	点検項目	判定	理由
亀裂	①	○	亀裂の発生は、土質の不均や沈下によるものであり、点検時に発見された場合は、その発生位置、長さ、幅、深さなどを記録し、経過観察を行う。
陥没	②	○	陥没の発生は、土質の不均や沈下によるものであり、点検時に発見された場合は、その発生位置、陥没の深さなどを記録し、経過観察を行う。
法崩れ	③	○	法崩れの発生は、土質の不均や沈下によるものであり、点検時に発見された場合は、その発生位置、崩れの範囲などを記録し、経過観察を行う。
浸透	④	○	浸透の発生は、土質の不均や沈下によるものであり、点検時に発見された場合は、その発生位置、浸透の量などを記録し、経過観察を行う。
凍害	⑤	○	凍害の発生は、土質の不均や沈下によるものであり、点検時に発見された場合は、その発生位置、凍害の範囲などを記録し、経過観察を行う。
凍害防止工の劣化	⑥	○	凍害防止工の劣化は、土質の不均や沈下によるものであり、点検時に発見された場合は、その発生位置、劣化の範囲などを記録し、経過観察を行う。
すべり	⑦	○	すべりの発生は、土質の不均や沈下によるものであり、点検時に発見された場合は、その発生位置、すべりの範囲などを記録し、経過観察を行う。
パイピング	⑧	○	パイピングの発生は、土質の不均や沈下によるものであり、点検時に発見された場合は、その発生位置、パイピングの範囲などを記録し、経過観察を行う。
すべり	⑨	○	すべりの発生は、土質の不均や沈下によるものであり、点検時に発見された場合は、その発生位置、すべりの範囲などを記録し、経過観察を行う。
凍害	⑩	○	凍害の発生は、土質の不均や沈下によるものであり、点検時に発見された場合は、その発生位置、凍害の範囲などを記録し、経過観察を行う。
凍害防止工の劣化	⑪	○	凍害防止工の劣化は、土質の不均や沈下によるものであり、点検時に発見された場合は、その発生位置、劣化の範囲などを記録し、経過観察を行う。
凍害防止工の劣化	⑫	○	凍害防止工の劣化は、土質の不均や沈下によるものであり、点検時に発見された場合は、その発生位置、劣化の範囲などを記録し、経過観察を行う。

【改定のポイント】
 ・判定基準を判定目安に変更 ⇒河川別に特徴が異なるため、事例の記載は標準的なものとした
 ・事例写真の削除 ⇒参考資料に記載、今後データが集まった段階で更新予定

● スライド25

(2) 護岸に発生する変状と評価項目

護岸の機能低下の状態に関連する評価項目として、下記の①～④の4項目を設定。
 点検要領に基づく点検事項(亀裂等)を①～④の4項目で評価する。

護岸の機能	機能低下の状態	発生する変状 (評価項目)	主な原因		
			洪水 (浸水)	材料 劣化	その他外力 (地震等)
耐侵食機能	護岸の 損傷	①護岸の損傷	○		○
		②法崩れ	○		
		③基礎部の洗掘	○		
耐浸透機能	漏水の 発生	④基礎部の侵食	○		

【参考】護岸(法覆工)の被災事例を参考に変状類別を設定
 ・のり工の積戻・・・・・・①護岸の損傷
 ・背栗土の積戻・・・・・・①護岸の損傷
 ・河床底層による積戻・・・・・・①護岸の損傷
 ・すり付材部からの積戻・・・・・・①護岸の損傷
 ・天端工および天端保護工の積戻・・・・・・①護岸の損傷

【改定のポイント】
 ・「⑫法覆工の積戻」と「③背栗土の積戻」を統合し、「①護岸の損傷」とした
 ⇒自然発生の変状が同一なため
 ・「④法覆工の積戻」を削除
 ⇒土堤に起因する変状として区別

※ 護岸の被災事例は河川砂防技術基準(案)開研設 設計編(1) P32.33より抜粋

以前の要領では、判定目安として写真までつけていましたが、基本的に写真等は参考資料という形でホームページでも公表していますが、そちらに移動しています。毎年バージョンアップしながら分かりやすいものに更新していければということで、あえて参考資料という形で再整理をしています。そちらも是非参考にいただければと思います。

同じように護岸についても、耐侵食機能と耐浸透機能を設置目的とする護岸もあるという整理の中で、FT図を整理し、大きく4つの項目で評価をするということになっています。(スライド24、25、26)

特に今回改定したポイントとしては、以前のものが「法覆工の流出」と「背面土砂の吸出し」という、同じような現象を2つの項目に分けていたものから、実際に評価する方々から分かりづらいという意見があって、そこについては「護岸の破損」という形で、土砂の流出を含めて⑬に集約しました。その代わり1つ項目として、目で確認できる内容、土砂が抜け出たものとして「はらみ出し」を追加し、

⑬～⑯の4項目という形で、判定の目安を定めて整理をし直しています。

スライド27は、樋門・樋管についてです。(スライド27) 樋門・樋管については取水・排水機能と止水(逆流防止)、あとは堤防を横断して造っているわけですから、堤防との接続部の関係。これらをきちんと見ていかなければいけない。

ただ樋門・樋管については特に柔構造について考える必要があります。平成10年以前は大体ほとんどの樋門・樋管について、基礎は、直接基礎の場合も別ですが、杭基礎が設置されている場合が多い。(スライド28)

平成10年以降については、柔構造樋門という形で構造が大きく変わってきております。(スライド29) 当然事前に樋門を点検する場合には、この樋門はどの構造なのかというのを確認した上で、それによってあられる変状、それと理由が変わってきますので、そういったものを確認した上できちんと点検・評価を実施していただきたいと考えています。

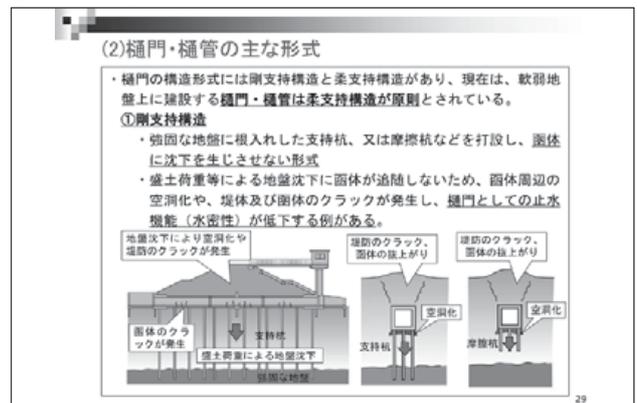
● スライド26

(3)護岸の点検結果評価の判定目安(案)

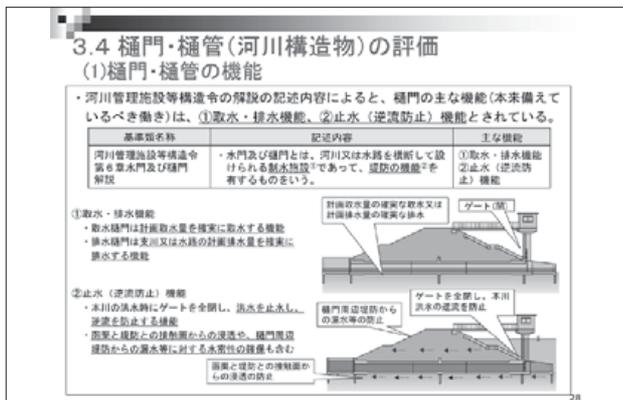
評価項目	評価基準	判定目安	補修・改善の目安
①護岸の破損	護岸の破損が認められる場合	破損が認められる場合	破損箇所を補修する
②土砂の流出	土砂の流出が認められる場合	土砂の流出が認められる場合	土砂の流出を抑制する
③背面土砂の吸出し	背面土砂の吸出しが認められる場合	背面土砂の吸出しが認められる場合	背面土砂の吸出しを抑制する
④法覆工の流出	法覆工の流出が認められる場合	法覆工の流出が認められる場合	法覆工の流出を抑制する

【改定の例(小)】(土曜と月曜)
 ・判定基準を判定目安に変更 ⇒ 河川毎に特徴が異なるため、要領の記載は標準的なものとした
 ・事例写真の削除 ⇒ 参考資料に記載、今後データが集まった段階で更新予定

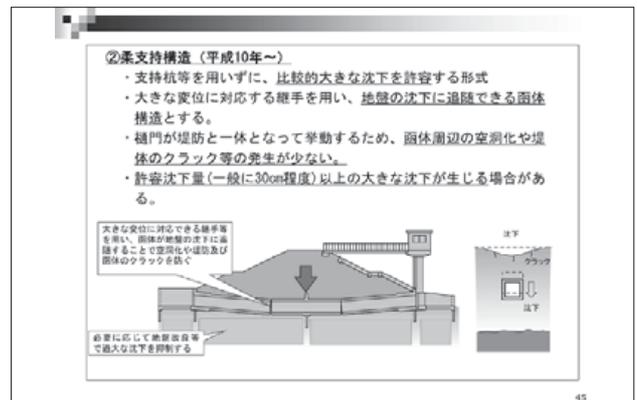
● スライド28



● スライド27



● スライド29



それらを機能と機能低下の状態に着目してFT図を整理し、7項目を設定しました。これによって評価をしていただきたいということです。(スライド30) 特に空洞化につきましては、目視だけでは判断できない場合もございますので、定期的な詳細点検も実施していく必要があると考えています。

判定の目安として、先ほどの7項目を表にして書いています。(スライド31) 構造物についてはこの7項目で、とりあえずここで土木として一回総合的な評価を実施し、A、B、C、Dを付けます。さらに別の要領として、機械の関係ではゲートやポンプのための評価要領が別にありますので、それで機械の評価をし、電気通信施設が設置されている施設であれば、電気通信施設についても評価し、最終的に土木、機械、電気を合わせてこの施設の現状として4段階評価をするという形になります。総合的な評価といいながら2段階実施していただくということです。これは樋門・樋管を例示していますが、他に水門、堰も同じような形で実施していただくという

● スライド30

(3) 樋門・樋管に発生する変状と点検項目

・ 樋門の機能について、機能低下の状態と発生する変状及び主な原因を整理すると下図に示すとおりである。
 ・ 樋門の取付護岸に発生する変状は、「護岸」に準じて評価する。

樋門の機能	機能低下の状態	発生する変状	主な原因			
			地盤・護岸低下	洪水	材料劣化	その他外力
止水(逆流防止)機能	護岸からの漏水	①堤防のひび割れ、陥み 取付護岸のひび割れ	○			○
	護岸の損傷	②涵体底面下の空洞化* ③涵体等の破損	○			○
取水・揚水機能	ゲートの閉閉不全	④継手の変形、破断	○		○	○
		⑤門柱等の変形、破断	○		○	○
	面体からの漏水	⑥面体の変形、破断	○		○	○
	低下能力不足	⑦涵体内の土砂堆積		○		
		⑧涵体の過大な沈下		○		○

* 注目箇所の確認は困難であるが、空洞化の有無がある場合は詳細点検(調査を含む)にて確認が必要

● スライド31

(4) 樋門・樋管の点検結果評価の判定目安(案)

項目	点検項目	点検結果	評価	備考
止水機能	① 堤防のひび割れ、陥み	○	A	点検結果が良好
	② 涵体底面下の空洞化	○		
	③ 涵体等の破損	○		
	④ 継手の変形、破断	○		
	⑤ 門柱等の変形、破断	○		
	⑥ 面体の変形、破断	○		
	⑦ 涵体内の土砂堆積	○		
ゲートの閉閉不全	⑧ 涵体の過大な沈下	○	B	点検結果が良好
	⑨ 涵体の過大な沈下	○		
面体からの漏水	⑩ 涵体内の土砂堆積	○	C	点検結果が良好
	⑪ 涵体内の土砂堆積	○		
低下能力不足	⑫ 涵体内の土砂堆積	○	D	点検結果が良好
	⑬ 涵体内の土砂堆積	○		

【改定のポイント】
 ・ 実状箇所ごとの評価に具体的な部位(箇所)を明記 → 評価部位(箇所)が分かり易いよう配慮
 ・ 特定基準を判定目安に変更 → 河川別に特徴が異なるため、更なる記載は標準的なものとした
 ・ 事例写真の削除 → 参考資料に記載、今後データが蓄積された段階で更新予定

ことを考えてございます。

このような形で、今年も直轄河川では全国、都道府県については代表河川で、実際に試行しています。(スライド32) これらの試行運用結果をもとに、課題・問題点を整理し、さらに必要があれば今年度もう一度見直しをして、最終的に来年3月には、(案)の取れた評価要領として発出していきたいと考えているところです。

さらにシステム化に向けて、現在維持管理のシステムとして、私ども直轄の方ではRMDISというシステムを構築し、維持管理関係の記録を全部そこに保存しながら蓄積していくという形で進めています。このRMDISとの関係性も整理しています。タブレットを現場に持って行って、記録していくのですが、そこで写真も撮れるし記載もできるという形に、タブレットに点検結果として入力することで記録が整理され、それを打ち出すことによって一次評価のための様式が全部出てくることとなります。入力からアウトプットまで一連でできるような簡素化も含めて、今システム改良も行っています。これが整理できれば、多分コンサルさんでも官貸与という形で、タブレットを持って現地へ行っていた形にできるかと考えています。現時点ではタブレットは巡視員が持って行って、日々の巡視の記録を残しているので、今後は点検にも活用していきたいと考えています。

実際に試行をしていて、少し皆さんに注意喚起をしていかなければいけないところが何点かあるの

● スライド32

4. 今後の展開

- 点検結果評価要領の改定
 - ・ 平成27年度に改定した評価要領(案)の試行運用を実施中
 - ・ 本要領の運用上の課題・問題等を整理し、更に見直しが必要か検討中
 - ⇒ 平成29年3月に(案)の取れた要領を発出予定
- 点検結果評価様式のシステム化
 - ・ 点検結果評価様式の自動化・DB化に向けて、RMDISのVerUPを検討中
 - ⇒ 点検内容をRMDISで入力できるよう、RMDISの入力項目と点検要領の整合を図るよう整理中
 - ⇒ 点検・評価作業の簡素化のため、点検結果評価様式が、RMDISからのアウトプットできるよう開発を進めている

で、その部分と、今年度の試行の状況についても若干触れておきたいと思います。

先ほども説明しましたが、記録写真がきちんとしていないと、後の評価、もしくは来年度、「これはどこだったかがよく分からない」という事例です。例えばこの写真は護岸の目開き、天端クラック、モグラの穴ですが、これらの写真は点検結果の記録として、それぞれ1枚しかなかったものです。周りの状況、例えば川がどういう状況なのか、例えばモグラの穴だったら堤内地が、法尻がどんな状況なのか、湿地状況でジメジメしているようなところだったらミミズがいっぱいいますから、見つかったモグラの穴が例えば1個だとしても、今後更に発生してくる可能性があるわけです。モグラが寄って来やすいですから。というような思いを描いて総合評価をしたのだけれども、この写真だけではそれができない。

また、最近しばしば新聞に出ていますが、イノシシが渡良瀬川によく出て問題になっていますが、例えば山とその場所の関係など、そういったもう少し広く捉えた写真がないと、後で評価しようにも評価できない。ということで、なるべく要領にもいろいろな写真を残してもらえるように、様式も変えながら工夫をしているところですので、実際に点検される方には、そういったことをよく注意していただきたいと考えています。

もう1つは、これは実際に去年あった事例ですが、事務所によって、例えば「亀裂の場合、これぐらいだったらcにしよう」という風に閾値を決めてしまっている事例です。これは両方とも護岸の亀裂ですが、事例1と事例2とがあります。これらは両方とも亀裂幅30mmなのでc評価になっています。ですが、H.W.L.よりも上で発生しているものと下で発生しているものとは、機能という観点から考えたとき、変状としては同じだけれどもどうなのか、というところをよく考えていただきたい。さらに言えば、事例1は、ほとんど吸出しもされていなければ、bでもいいのではないかとということもございまして、このように閾値を決めると、機能とし

ての評価にならないので、注意いただきたいというような事例です。もちろん、この防護フェンスがあるので、それが危ないという安全利用の話になればまた別問題ということです。

今後なるべく数値化はしていきたいと思っておりますが、まだなかなか蓄積も少ないので、この変状をすぐに定量化できるというようなものではありません。定量化できるものは書いていますが、できないものについては今後さらに蓄積をしながら定量化をしていくこととなります。逆に言えばそういった観点で同じ程度の変状でも扱われ方が違う場合があるという点は認識しながら、点検をしていただきたいという注意事項です。

もう1つですが、これは橋梁下の箇所です。許可工作物、橋梁が架かっているからといって、橋梁の下の護岸はすべて橋梁管理者のものではなくて、河川管理者が引き取っている場合もあります。一方で、条件護岸の範囲として、構造令で定めている上下流10m、全部引き取ってなくて、橋梁管理者が管理している場合もある。だから、点検しなければいけないところなのかどうかというのを、きちんと明確に確認してから行かないと、漏れが出てくる可能性がある。「これは橋梁のところだから橋梁管理者の施設だ」ということで見逃すと、実は引き取っていて、河川管理者のもので、点検が漏れてしまうということもあり得るので、先ほど柔構造と剛構造の樋管は事前確認が必要だということは説明させていただきましたが、構造物に関しては誰が管理者なのかというところをきちんと確認して、漏れないように点検をしていただきたいというところです。

さらに、許可工作物については、履行検査という形で年に1回許可受け者立ち会いの下で点検を行っている地整もあります。法律に定められている点検業務は河川管理者だけではございません。許可工作物の管理者も同じ義務を負っています。許可工作物を点検する際には、この評価要領と点検要領を活用していただければと考えております。

こういった反省点も踏まえて、昨年度は評価要領

<質疑応答>

質問者1 最近の点検や評価についての非常に有意義なお話を聞かせていただいて勉強になりました。ただちょっと疑問に思ったのは、最後におっしゃった平成28年度の点検結果、今日まとめて持つておいでになったと。それで見にくいので私の見落としかもしれませんが、この中で私が重視しているのは、河川の構造物と土の堤防の境目に大きな空隙ができていて、それで堤防破堤に至る。これは私の認識では、従来の直轄河川の破堤災害の60~70%はそうであったと見ております。これは長良川もしかり、小貝川も大体そうですし、皆さん御存じないけれども、破堤には至りませんでした。荒川下流でも恐ろしいような事例があったわけです。それがどうも平成28年度の点検結果でほとんどないように聞こえたのですが、そういう危険性は現在ではほとんどなくなっているという認識ですか。

藤田 今の質問につきましては、私の説明が足りなくて申しわけございません。基本的に先ほどお見せしたのは、土堤と護岸の部分になりまして、今ご質問があった部分については、「構造物周辺の堤防」という形で構造物のほうに含めています。これについては申しわけありませんが、今日まだ整理が間に合っておりませんので、先ほどの資料には入っておりません。対象となっているということで、当然そこが一番重要だという認識は我々も持っておりますし、樋門・樋管、もしくは水門、堰の中でそういう点検は実施しているということで、ご理解いただければと思います。

質問者2 日ごろよりお世話になっております。スライド4のこの自立式の特殊堤にも丸がついているということは、点検をするということによろしいのでしょうか。というのはなぜかと申しますと、東京都もコンクリート系の特殊堤がたくさんございます。今回の点検要領と評価要領には、こういったコンクリートの事例がなくて、先ほど最後のスライド33、堤防の実物大模型による研修のところ、躯体側壁の剥離というところが出ていますが、こういっ



たものについてどれぐらいの剥離だとcやdであるのか、クラックが0.3で何m以上だとどれぐらいの影響で、cにするのか、今後公表に向けて、当然国交省の方で公表されると、各自治体でもそれに向けて住民から問い合わせがある。この判断が非常に難しい。その辺をぜひ示していただければという、私共からの希望ですが、よろしく願います。

藤田 実は確かに点検対象の施設と評価要領ができていない施設が違っていて、点検については特殊堤や高潮堤も全部作っているのですが、評価の方が今そこまで手が回っていないというか、できていない。先ほど言いましたとおり、堤防と護岸と鋼矢板護岸と樋門・樋管、水門、堰。その他についても作っていかなければいけないという認識はありますが、劣化した状況など、機能の程度を評価する事例が少ないというのが大きな理由です。今後必要に応じて検討していきたいと思いますが、国の施設では少ないものですから、ぜひ各都道府県からもそういった事例の情報提供をいただきながら、今後検討していきたいと考えています。

質問者3 大変重要な点検ということで、難しい基準を作ってくれるご努力には大変敬服しております。

2つあるのですが、1つは先ほど森さんの説明にもありましたが、今回これは維持管理のためということなので、河川管理施設ができたときの機能から、機能が低下して行って、影響があるようであれば、できたときの状態に近づけましょう。そういう意味

合いでの構造物の管理だと思いますが、一方、森さんの方のお話というのは、そういう機能があっても、安全性ということ考えたときには、構造物、例えば堤体だったら盛土だけでなく、基盤も含めた全体の状況、あるいは河道の状態、形とか河道断面の大きさとか、そういったものが総合的にあって、大きな外力を受けたときの安全性というのは左右されますよ。多分そういうことで、大きな事象が起こることと、機能が当初造ったときの状態で維持されていても、それで十分かというところには、少しギャップがあるような気がするのですが、これは今後の課題だと思いますが、それを埋めていくことに関しては、今後どのように進められていくような感じになっているのかというのがまず1点。

2つ目のほうは割と簡単ですが、特に堤防近接箇所護岸を考えたときには、水の下ですね。水の中の、いわゆる根のところの状態というのが、かなり安全性には大きく効いてくるような事例が多々あって、実際たまたま開封して見ると、根が浮いていてなんていう例は結構あったりするのですが、そういうところは今回の点検の中ではどういう考え方になっているのか、教えていただければというのが2点目です。

藤田 先に2点目の方からお答えしますが、基本的に先ほど説明させていただいたとおり、目視で確認できる範囲で要領は作っています。それは去年もそういった議論はあって、また今年の中で議論していかなければいけないのですが、例えば5年に1回、定期縦断測量というのをやっています、当然水中部も測っていますので、そういったところに必要な項目として、測量の中にそういった点検を追加して見ていく。それは毎年でなくて5年に1回になりますが、急激な変化がなければ、そういったこともひとつの案ではないかと、今個人的には考えていますが、そこについては今年また議論をしていきたいと考えております。

1点目の部分については、あくまで今回の点検・評価要領については、目視で確認できる範囲で堤防



の健全度をまず評価しましょうと。言われている基礎地盤ですとか堤体漏水なども含めての話は、河川研究室さんとも連携して、もう一つ別の評価軸で評価していかなければいけないと思っています。そこはまさに今一緒に検討を進めているところです。またそこも整理できたら、こういう場でご紹介できるかと考えています。

質問者4 この3ヶ年、平成26年度に診断・補修マニュアルといった形で、細かく評価もされて、対策工法、優先度化ということもまとめられた上で、平成27年から今の評価要領に改定されていると思いますが、今、先ほどお話ししました平成26年度にある程度優先度化、いわゆるいろいろ点検を行った上で、直すものがたくさんあって、なかなか直せないということがありまして、そういった意味では以前出された診断・補修マニュアルとかそういった形のもので、ある程度応急対策的にはどういう風に直すべきか、優先度をどういう風にやるべきなのかというのが、なかなか河川特性で難しいところがあると思いますが、その辺のまとめというのは今後どのように考えていますでしょうか。

藤田 ご指摘いただいた診断・補修マニュアルも踏まえて今評価要領を作っていて、この先の展開ということで、診断・補修マニュアルに書いてある内容がまだ網羅し切れていないという指摘だと思います。確かにご指摘のとおりでございまして、とりあえず要領を今年度固めて、その後、補修については河川の特性に応じて違うので、標準的なもの以外を

示すことはなかなか難しいと思いますが、そういったものも参考資料等にお示しさせていただきながら、さらには多分それについては長寿命化計画にも絡んでくるので、一方では施設のライフサイクルコスト（LCC）の検討も進めていまして、そういった中で併せて補修方法なども整理していくことになると思いますので、またそういったものを提示させていただきたいと思っております。すぐというのはなかなか難しいところがありまして、できることから今進めているということです。

質問者4 ありがとうございます。私も今ちょうど先ほどの横断的連絡調整会議がありまして、それで1回目で出水期前点検のほうを、2つの事務所の方でコンサルとして参加させていただきまして、これから11月か12月ぐらいに、実際どうやって直していくかという話の維持管理対策と優先度についてお話ししたいということがありましたので、参考とさせていただきたいと思います。どうもありがとうございました。

＜閉会＞

司会 それでは、最後になりましたが、当財団の理事長であります関より、閉会のご挨拶とさせていただきますと思います。

関 河川財団の理事長の関でございます。今日は多くの皆様方にご参加いただきまして、今年第4回の河川研究セミナー、これが今年度最後になるわけですが、本当にありがとうございました。

特に今日は、国総研の森主任研究官、それから水管理・国土保全局の藤田補佐、本当に普段格闘しているその状況を共有化させていただいたのではないかと思います。

私どもはこの河川研究セミナーを平成24年から始めておりまして、平成24年は特段テーマを設定しておりませんでした。平成25年が「河道設計」、平成26年が「総合土砂管理」、平成27年が「河川の維持管理」ということで、どちらかという河川の管理に関わる中で、社会的にトピックというのか難しいテーマに絞って、各分野の皆様方と一緒に議論させていただこうと、そんな思いで進めてきております。

今日もそういう意味でのお話をいただきましたし、今年の第1回は「堤防調査等に関する最近の動向」ということで、私ども河川財団の山田、山本が堤防の植生に関して、それからリバーテクノ研究会の阿部様から、「堤防の湿潤・浸透に対するモニタリング」、第2回が寒地土木研究所の船木様から、「破堤氾濫被害の軽減に向けた技術開発」、前回第3回が土木研究所の佐々木上席研究員から、「河川堤防の液状化対策」ということで伺いました。正直言って来年はどんなテーマでまた皆さんと一緒に議論できるかなと、これから考えなければいけないところですが、1点だけ、そういう意味では悩みの共有化ということで、お話をさせていただければと思います。

実は平成25年4月に、先ほど藤田補佐からも紹介がありました、「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」という答申が出て

います。この中で大分議論があるのですが、ちょっと読み上げさせていただきます。「河川の管理の主要な対象である河道や堤防は、長大な延長と区間・箇所ごとに異なる特性を有し、洪水という特異な事象によって箇所ごとに顕在化する変化等を捉えて管理する必要があることから、様々な条件下で生じた過去の変状・被災、それらに対する災害復旧や維持修繕等の履歴から得られる知見を蓄積し、それらの経験に基づいた管理を行ってきた」というのがあって、「このように河道と堤防を主たる対象とする河川の管理は、人工構造物を管理の中心とする他の社会資本施設の管理とは本質的に異なるものである」というのがあります。

要するに今、公物管理は予見可能性というのがものすごく厳しくなっています。そういう中で管理の重要性が高まっているのですが、河川に関していえば予見可能性は正直言って結果的予見可能性で、大変なことがあった後、「あれは分かった」という方がおられますが、そういう意味でのあの場所がこういう条件においてこんなことが発生するということを、ピンポイントで予見するというのは極めて難しい。しかし、それを進めていかないと、本当に安全な、より安心して生活していただける管理というのはできないという、そのギャップの中でどう進めていくかという悩みだと思っています。多くの国民の方々は河川の管理も、例えば挙げると悪いかもしれないけれども、橋梁等の管理と同じようにできているという風に見ていると思っていただいた方がいいと思います。そこにもものすごいリスクがあります。

ついしゃべり出したから言っておきますと、最近大きな事故がありまして、その専門家の見解がばらばらなのです。非常に国民的不信を得て今日まで至っている分野がありますが、そういう意味では河川管理に関する特性とか限界とか可能性というものをどんどん進める中で、ぜひこういう場で共有化しながら進めていければと思っております。

本当に多くの方にお集まりいただきまして、私ども河川財団もこういう形で進めさせていただき、引

き続き来年度も、テーマは先ほど申し上げたように悩みますが、また進めさせていただければと思っております。

また、改めてお二人の講師にはお礼を申し上げて、

今日ご参加の皆様方にも御礼を申し上げまして、今年度の河川研究セミナーをこれで終了ということで挨拶をさせていただきます。本当にありがとうございます。

(了)