

河川堤防の整備と管理について

中山 修

株式会社 キタック

理事・技師長



それでは、よろしくお願いします。

今日はこのような構成で、最後に次世代に良質なストックを残すために、どう考えればいいのかというようなことを私なりに考えた事をお話し、議論のたたき台になればと思います。

まず、「私と堤防とのつきあい」ということで、仰々しいタイトルですが、生まれは茨城県の下妻市というところで、小貝川の流域でございます。先ほど間宮さんのパワーポイントに利根川の変遷がありましたが、9ページの、小貝川のところを見ていただきますと、上のほうに騰羽江というのがあります。

実は鳥羽の大海というところで、平安時代は、汽水湖から淡水湖になって、まだ残っていたようでございます。ここがだんだん干拓されて現在に至っています。昭和13年には、小貝川の右岸が決壊しまして、私の家もつかったというような土地でございます。小さいころ家には、先ほど間宮さんから

ご紹介ありましたが、船がつるされていて、浸水したら、その船で逃げるというようなところでございまして、中山という名字ですが、氾濫とか、河川改修には先祖元来、縁

(一財) 国土技術研究センター堤防委員会

1

河川堤防の整備と管理について

中山 修
株式会社 キタック 理事・技師長
平成26年11月7日

構成

2

1. 私と堤防とのつきあい
2. 堤防を語る前に知っておきたい基本事項
3. 河川堤防の特徴
4. 河川堤防に係る基準類の策定経緯と現在の体系
5. 河川堤防の整備・管理に係る図の取り組み
 - ①何を目標に、どのような方法で整備してきたのか
 - ②水害訴訟と堤防管理
 - ③技術的課題等
6. 次世代に優良資産として引き継ぐために

私と堤防とのつきあい		
年	概要	備考
生まれ	茨城県下妻市数道、鳥羽の大海、S13年洪水氾濫	小貝川の氾濫域
平成2年	江戸川実物堤防滑走実験（最終ステージ）に関与 降雨・湛水～降雨・湛水～降雨・湛水（ドレーン工）～降雨 破壊	福岡先生、久野先生、 山村先生、久米先生、 中島先生、間宮先生
平成5年～	堤防地震対策委員会に関与（鎮西沖地震、阪神淡路大震災） ＊確保すべき耐震水準と耐震性照査手法を提示	山村先生、佐々木先生
平成7年～	堤防研究委員会に関与（後に本委員会、湛流W.G.、侵食W.G.、越 流W.G.、耐震W.G.、構造物周辺W.G.で議論） ＊堤防概略点検及び相対的安全性評価手法を提示 ＊湛流に対する安全性照査手法及び対策方法を提示 ＊構造物周辺堤防の点検手法及び対応方法を提示	今岡先生、山本先生、 三木先生、吉川先生、 青山氏、渡部氏、小保 氏
平成10年	長江洪水及び決壊調査団に関与（土木学会） ＊平成11年に国際シンポジウム開催	玉井先生、中川先生、 沖先生、青山氏
平成13年	日中河川堤防セミナーに関与	宇野先生、山村先生
平成14年	河川堤防構造検討の手引き作成に関与	青山氏、小保氏
平成17年	護岸力学設計法の改定に関与	藤田先生、田村氏
平成18年	河川土工マニュアル改定に関与	佐々木先生、三木先生
平成20年	JICE堤防委員会設立に関与、基調講演・意見交換	多くの先生

があったようなところで、逆に言うと水に苦しめられた地域に生まれた者でございます。

昭和53年に国土技術研究センターに入りまして、当初はダムの堆砂対策であるとか、あるいは霞ヶ浦をはじめとする富栄養化対策であるとか、河川の治水計画等を携わっておりました。本格的に堤防に私が携わったのは



平成2年、先ほど間宮さんからお話がありました、江戸川実物堤防実験の最終ステージのときでございます。降雨で堤防を破壊させたというときでございます。このときに委員会もつくっております、ここに書いてある先生方にいろいろ教えていただいて、堤防とはこういうものなのか、当時の知見を私なりに解釈して、今の自分があるのではないかと考えております。

また、平成5年には、釧路沖地震がございまして、このときに釧路川、また十勝川で大規模な堤防変形があった。その前後で堤防地震対策委員会というのがございまして、これに関与しております。このときに、今日、堤防委員会のメンバーでございしますが、佐々木先生にいろいろ教えていただいて、堤防の地震に対する変形とか、対策についての考え方、物の見方というのを教えていただきました。

その後、平成7年から堤防研究会が発足しました。当初は行政と今の土木研究所と国総研が一体となった勉強会を始めていまして、それにかかわりました。後に、この研究会は本委員会のもとに、浸透に対するワーキングであるとか、侵食のワーキング、越流、耐震、構造物周辺堤防のワーキングを設置し、活発な議論がされました。今岡先生にはこのときに樋門等の構造物周辺堤防ワーキングの座長をやっていただきまして、長い線構造物の堤防にある樋門等の周辺堤防というのは、どういう見方をすればいいのかというのを教えていただきました。また、河川及び堤防の管理というものを管理瑕疵という視点からどう見ればいいのかというようなことを学んだものです。

平成10年には、中国の長江で決壊がございまして、玉井先生が団長でこの洪水調査とか、決壊の調査に行きました。そのときに団員の一人として行ったのですが、中国の河川堤防に対する取り組みとか歴史というものを肌で感じて帰ってまいりました。

その翌年に、国際シンポジウムと称しまして、中国の方も交えて、シンポジウムを開催しました。今まではどちらかというとアメリカ、オランダの河川堤防の設計論及び施工計

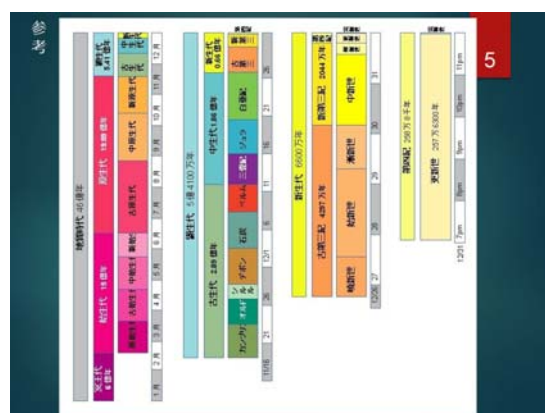
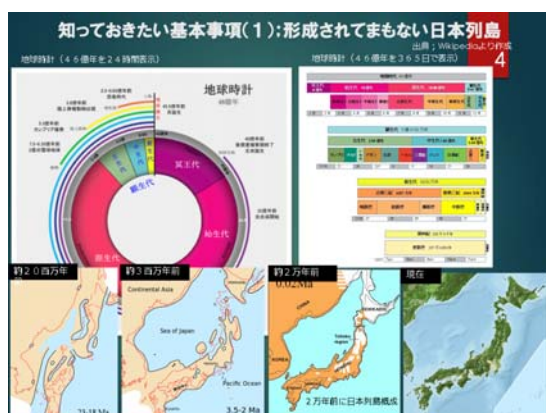
画、施工技術等の基準書を国土センターなりに取り入れて行政に発信していましたが、これを契機に、中国の堤防についての取り組みも非常に学ぶべきところがありますので、平成13年に、河川整備基金を使いまして「日中河川堤防セミナー」を開催しました。このときに事務局をやらせていただきまして、宇野先生にいろいろご指導いただきながら、どうにか成功いたしました。

14年以降は、平成7年からの堤防研究員会の成果としまして、河川堤防構造検討の手引であるとか、護岸力学設計法を改定するとか、あるいは河川土工マニュアルを改定するとか、河川堤防に係る基準類の策定や改定に関与させていただきました。

また、平成20年からは、JICE独自の常設の委員会である「堤防委員会」を設立しまして、土質、河川、地形など専門分野の異なる先生方からなる堤防について議論する場をつくらせていただくようなところに関与し、まさしく多くの先生方にご指導いただきました。

堤防に入る前に、先生方はもうわかっておられるかもわかりませんが、2つほど、我々はこのことを知っていたのが良いのではないかということを書かせていただきます。

1つ目は、日本列島というのはいつできたのか、いわゆる列島形成論的な話でございます。約2,000万年前には大陸の縁辺にまだございまして、約300万年前に、日本海が没するような形で日本海が形成されて、今の日本列島のもとになるような場ができ始めた。現在の日本列島が概ね形成されたのが約2万年前です。ですから、スライド上に地球時計と称しまして書いてございますが、地球が46億年前にできているのですけれども、日本列島ができたのは、1年で表しますと12月31日にできたということで、非常に形成さ



れて間もない赤ちゃんだということです。雨であるとか、地震であるとか、そういう外力に対して非常に脆弱なところに我々は住んでいるということを国土基盤を整備したり、管

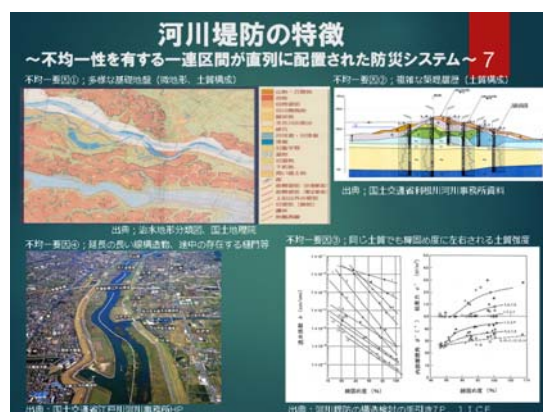
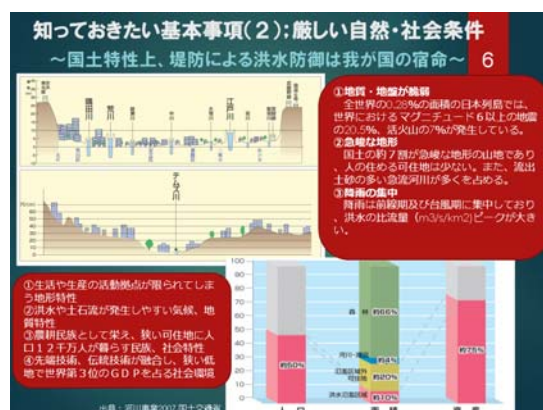
理する人間としては知っておきたいなという
ことでございます。

2つ目は、そういう場の上に我々は住んで
いるわけですので、厳しい自然・社会条件
というのをもう一度、振り返ってみたい
なと思います。国土の自然条件、社会特性
上、堤防による洪水防御以外に我々の生活・
生産力を高める手段はなかったという

ことです。今後もそういうことだろうという
ことが答えであります。地質・地形が脆弱で
あるとか、地形が急峻であるとか、降雨が局
所的に集中するとかいうのを書いてございま
すが、結局、生活とか生産の活動拠点という
のは、可住地域が非常に限られているため、
沖積平野の洪水位よりも低いようなところに
住まざるを得ないし、そこで生活・生産せ
ざるを得ない。さらに、そういうところは川
によってできたものですから、洪水とか土石
流とかが発生しやすい条件になっているとい
うことです。

このような低地に居住するのは農耕民族と
して我々が栄えたところも根本にあるのか
なと思っております。いずれにしましても、
そこでGDP世界第3位という生産力を誇って
いる国でございますので、さらに1億人以
上の人口を擁しているわけですから、現在
の場というものを守るために、さらに持続
的発展をさせるためには、堤防による国土
管理というのが切っても切れないものだ
なということでございます。

さて、河川堤防の特徴ですが、これは何
回も言い尽くされておりますけれども、改
めてまとめてみますと、4つぐらい特徴が
あるのかなと私なりに思います。まず、不
均一性を有するというものでございまして、
一連の区間が直列に配置された防災システ
ムだということです。具体的に不均一性とい
うことなのですが、それは何かというと、
多様な基礎地盤上につくっているというこ
とです。先ほど来、日本列島の形成でお話
しましたように、堤防がつくるところは旧
河道であったり、後背湿地であったり、多
種多様な微地形のところに



います。

また、人工的につくりました堤体でございますが、堤体も、築堤の時期によりまして材料も異なっておりまして、非常に複雑になっている。利根川上流の開削調査の箇所で見ますと、何回も何回も堤防をつくり直しているというか、拡張していることが分かります。材料は決して一緒のものではないということです。

また、3つ目の特徴ですが、同じ材料でも、締め固めによって土質強度とか、あるいは透水係数が左右されるという、土をやっている先生は当たり前ですが、意外と見落とす視点です。これは久楽さんと三木さんが土木研究所でやられた締め固め度と透水係数、締め固め度と強度との関係です。締め固め度を80%から90%ぐらいに持っていくだけで、 ϕ が10度上がったりするということで、締め固め度というのは人工構造物の堤体をつくる上で非常に重要なことです。

昔、つくられた、昔というか、戦後もそうですが、築堤というのは、締め固め管理はほとんどやられておりませんでした。いわゆる機械化施工を導入した時もそうです。でやったときに、浚渫船から噴いた砂、土をそのまま水締めで締めて今の堤防になっております。ですから、締め固め度は80%程度と非常に緩い。

4つ目の特徴は、連続堤で防御する方式を選んでおります。連続堤で防御するということは、周辺の土地利用が非常に発達しているところに我々は住んでおるわけですので、途中にいろいろな構造物、例えば樋門であるとか、樋門も排水樋門、用水樋門、あるいは橋梁の橋台、こういう土以外の材料で出来た構造物が入っている連続した構造物といえます。

一言で言うと、河川堤防は、不均一性を有する一連区間が直列に配置された防災システムと考えております。

言葉ではなかなかわかりづらいのがありますので、他の盛土構造物との比較をしてみました。このパワーポイントを見ていただきたいのですが、対象としたのはロックフィルダムと道路盛土です。こうして河川堤防を比較してみると、河川堤防の特異性というのがはっきりと見えてくるのではないかと思います。

河川堤防の特徴
～他の盛土構造物との比較において～

	河川堤防	ダム（ロックフィル）	道路盛土
基礎地盤	無処理	処理	一部処理
盛土（堤体）	複雑な築堤履歴	材料選定、締固め管理	締固め管理
法線方向の均一性	極めて不均一な線構造物	均一な構造物	不均一な線構造物
供用	暫定段階での供用	完成後の供用	ほぼ完成後の供用
異常外力等への対応	予警報、避難（洪水を止められない）	越流させない設計 非常用ゲート	通行止め、別ルート

・故障・事故が生じる可能性が高く、生じた場合の対応選択が限定的な構造物
・ストレステストが難しい構造物

基礎地盤につきましては、ダムは、カーテングラウト等により処理して漏水量を極力減らしております。道路盛土につきましても、高速道路等につきましては一部処理をする。河川堤防は基本的には無処理です。

堤体につきましては、ダムは材料選定から始まりまして、締固め管理も非常に厳密にやります。道路盛土につきましても、締固め管理は厳密にやります。かつ、継ぎ足すといえますか、かさ上げ拡張というのはあまりない。これに対しまして、河川堤防は、現在ストックの上にかさ上げ拡張いたしますので複雑な築堤履歴になってしまうということです。

また、法線方向、前手方向で見ましても、ダムは均一な構造物であり、二次元解析により代表設計ができます。つまりどこを切っても同じということです。ところが、河川堤防の場合には、１００メートル、２００メートル、１キロ離れたら、全然違う土質構成になっているというような線方向で見ましても極めて不均一な特徴がございます。

さらに、供用という視点で見ますと、河川堤防は暫定段階から供用せざるを得ないということ。ダムは完成後の供用、道路盛り土も完成後の供用。ダムの場合は、試験湛水によって漏水量等、あるいは堤体の変形等を厳密に計測する。これは構造令でも規定されております。これに対しまして、河川堤防は残念ながら、そういうことはできずに、暫定段階で供用しながら流域の安全を確保するという特徴がございます。

さらに、異常外力への対応でございますが、異常外力と言わずに、洪水と考えてもらっても良いです。河川堤防は洪水をとめられないわけで、自分の能力以上、河道の能力以上のものが来たら越流する。それでは流域が困るから、予警報であるとか、避難とか、そういうソフト対応で安全をできるだけ確保するわけですが、ダムの場合には越流させない設計をしますし、非常用ゲートを設けて越流させないようにする等、設計思想が違います。かつ完成後に供用させる。道路の場合も、大雨が来たりすると、あるいは交通量が多くな

ったりすると、場合によったら通行止めをさせる。別ルートへ誘導する、こういう対応ができるわけです。システムの信頼性という視点から河川堤防の特徴を見てみますと、故障・事故が生じる可能性が非常に高く、生じた場合の対応選択肢が限定的な構造物だということと言えるのではと思います。また、原子力発電の被災以降、世間では有名になっておりますが、ストレステストと称するものが難しい構造物ともいえます。

こういう構造物でございますので、ある外力が来ますと、計画高水位を超えるか、超えないかに関係なく、今までいろいろな被災が生じてきました。昭和49年には、多摩川で堰の周辺の迂回流により河岸の決壊が生じ、先ほどお話がありました昭和51年には、計画高水位以下で長良川が決壊した。小貝川では樋門周りで決壊している。また、58年の千曲川は越水で決壊している。平成10年の阿武隈川の荒川では河岸侵食により決壊している。矢部川では、日本ではあまり例がなかったのですが、基礎地盤のパイピングで決壊している。こういうことで、整備途上というものの、先ほどのような河川堤防の特徴から、致命的な決壊というところまで影響を及ぼす場合もあるということでございます。

一方で、基礎地盤を選定できない所に盛土しておりますので、地震国である我国では、地震時にはいろいろな堤防の被災がありました。兵庫県南部地震以降も、どちらかといいますと、基礎地盤の液状化が主体で語られたわけですが、平成23年の東日本大震災では、東北地方を中心に堤体下部の地下水以下の領域、閉封飽和領域と佐々木先生は命名しておりますけれども、そういう今まで考えられていなかったようなところでの液状化が生じて、堤防変形に甚大な影響を与えたと言われております。実はこの閉封飽和域の液状化につきましては、平成5年の釧路沖地震でも同じようなことがあったと佐々木先生から聞いております。



これは近年の主な堤防決壊とか、被害事例を整理したものでございまして、JICEの堤防委員会に事務局が出したものを再掲しております。改めて見ますと、越流なき破堤と越流破堤を分けておりますが、毎年のように堤防の決壊とか、あるいは地震時の変形が起きている事が浮き彫りになるかなと思います。

このような特徴を有する河川堤防につきまして、国はどのような施策、基準類をつくってきたのかという経緯をまとめたものでございます。昭和51年に河川管理施設等構造令が制定されております。昭和39年に河川法ができていますが、それから遅れること12年、この間に河川管理施設等構造令は、11次の改定素案が内部でありまして、結果的に世に出たのは昭和51年になりました。これが初めて河川堤防の構造について、法律に基づいて規定したものでございます。

その後、先ほど「私と堤防のつきあい」でお話ししましたように、国が主体になった各種委員会の成果をもとに、堤防の概略点検であるとか、相対的安全性評価であるとか、堤防の設計指針、強化するときの技術ガイドライン、さらに強化とあわせてモニタリングする場合の技術ガイドラインなどが出されておまして、平成24年5月には、堤防等河川管理施設及び河道の点検要領が課長通達で出されております。

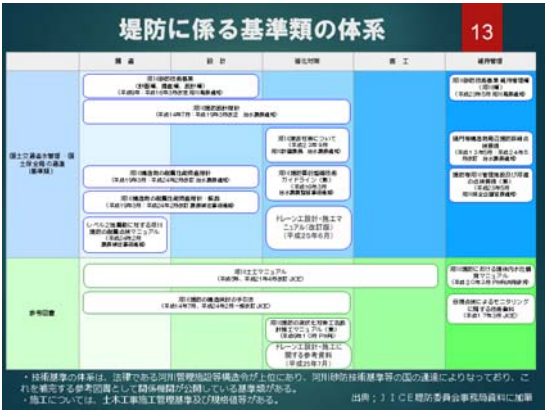
一方、耐震につきましては、平成7年に阪神大震災後、耐震マニュアルが出されておまして、その改定を平成19年に行い、さらに、東日本大震災での被災を受けて24年に改定して現在の指針・同解説ができています。設計と強化対策をやるときの考え方と維持管理の考え方及び点検の方法ということで、PDCAで回るような基準類ができて、堤防点検、あるいは対策の推進、堤防の効率的管理に向けた道具が整理されたということだと思います。

一方、道具だけができては良くなるわけではありまして、いわゆる人、体制の整備と



いうものもあわせて行政のほうではやられております。外部の学識経験者を入れた堤防研究会並びに地整レベルでは、堤防技術研究会をつくって、インハウスエンジニアを育てていくというのと、外部の知恵をおかりして、よりよい基盤をつくって管理していくというような体制になったとまとめられると思います。

これらの堤防に係る技術類の体系化というのを試みてみました。これも J I C E の堤防委員会の事務局資料に加筆したのですが、河川管理施設等構造令は除いて、このスライドにありますように、調査とか設計とか、強化対策とか、施工とか、維持管理という切り口で国の基準、通達類はどういうものがあるのか、それをフォローする資料はどういうものがあるのかというのを体系化したものでございます。



堤防をつくるための調査をどうすればいいか。計画をどうすればよいかというようなものにつきましては、河川砂防技術基準の調査編、計画編にございます。堤防の設計については同・設計編で記述されている。設計編をさらにグレードアップしまして、河川堤防設計指針が横たわっているという体系です。

耐震につきましては、河川構造物の照査指針が調査と設計まで書かれている。残念ながら、対策のほうにつきましては、まだできてない状況でございます。

維持管理につきましては、河川が先行しまして河川砂防技術基準維持管理編が平成 23 年にできております。また、先ほど説明いたしました「堤防等河川構造管理施設及び河道の点検要領」が策定され、具体的な点検の方法等につきましても記述されています。

施工のところがこの体系から見ると非常に抜けていまして、国の施工にかかわる基準がないというのが実態でございます。河川砂防技術基準は、もともと施工編もつくる予定でございましたけれども、施工につきましては、まさしく日進月歩で国が規定するものではなくて、民間技術を活用していこうという視点から、施工編は河川砂防技術基準ではつくっておりません。それをフォローするものとして、「河川土工マニュアル」があるというような位置付けになっております。

河川堤防の整備にかかわる国の取り組みについて、どのような方法で取り組んできたのかを私なりに整理してみました。このスライドは縦軸を信頼性と見ていただいて、横軸を

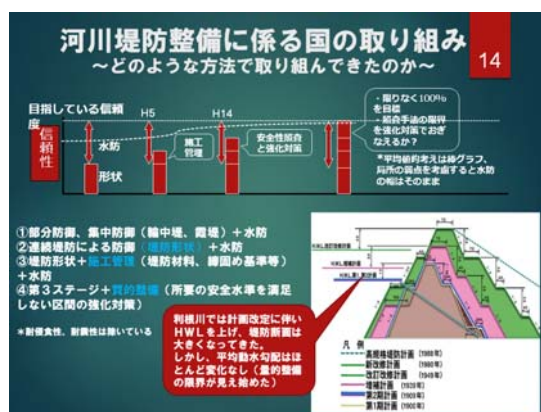
時間と見て下さい。当初は河川堤防の形状を規定するというようなことで堤防を整備してきた。ある信頼性を得るためには、水防が非常に大きな役割を持っていた。こういう解釈でございます。

信頼性のところに2つ線がありますが、堤防の形状は一気に完成まで行きませんので、暫定的にだんだんこうなるのかなという思いを込めてこんな線を入れてみました。いずれにしても、形状と水防の両輪で安全性を担保してくるという考え方が初期の段階です。

平成5年に、先ほどお話ししました「河川土工マニュアル」ができて、ここで施工管理の部分充実いたしました。何を充実したかというと、締固め管理を充実させていまして、この締固め管理をしっかり均一にやることによって、ベースとなる信頼性は上がってきた。でも、やはり水防が相変わらず必要で、両輪で信頼性を確保してきた訳です。

平成14年に、施工管理に加えまして、「堤防設計指針」がございまして、この指針に基づく安全性照査と、必要に応じて強化対策を実施する施策が推進されました。これにより堤防の整備体系ができたわけでございます。それでも一気に強化対策が進むわけではありませぬので、これをやったとしても、まだ水防は必要となります。本来であれば、安全性照査に基づく照査をしまして、強化対策をやれば、目標とする信頼性を仮に100%としますと、非常に100に近いものになると思いますけれども、そこまで持っていくというのはどうしても限界がある。それは照査手法の限界であったり、強化対策のいわゆる耐久性であったり、まだまだ見逃している弱部であったり、そういうものがどうしてもあって、平均値では100%というのかもわかりませんが、99.9999を目指してやっていて、残り0.1あるいは0.001というものが残っております。だから、結局、水防というのは必要だねということになります。いわゆる整備と水防というのが両輪で堤防の安全性を確保せざるを得ない。堤防はそういう構造物なのではないかなということでございます。

これは利根川の栗橋付近の断面ですけれども、5回ほど計画改定に伴いまして断面を大きくしています。H.W.Lを上げると、余裕高というものが有りますので、堤防天端が上がる。のり勾配が規定されておまして、結果的に大きくなっているのですが、平均動水勾配というものをと見ますと、明治改修のときの平均動水勾配と現在の堤防の平均動水



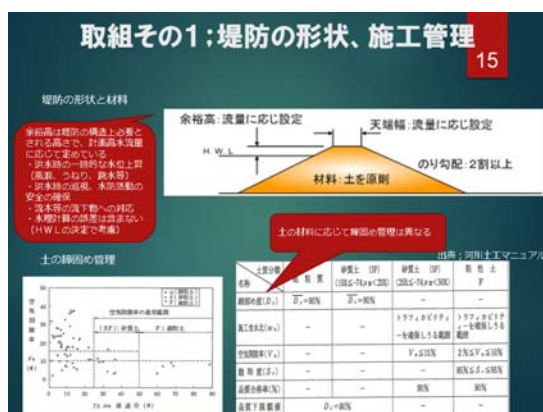
勾配は約0.2でほぼ一緒です。断面は大きくなって安全に見えるけども、浸透という面から見たときには、平均動水勾配はほとんど変わっていませんということでございます。基礎地盤が多種多様なところに同じような平均動水勾配を持った堤防断面ができており、築堤履歴が違って同じような平均動水勾配できているわけですから、形だけで安全性を評価するのは限界がある。結果的に施工管理と安全性の照査というのがどうしても必要になるし、それでも100%までは持っていけない堤防特有の問題があるので、監視、水防が非常に重要だと考えます。

もう少し具体的に堤防の形状とか施工管理についてお話しします。政令である構造令で規定している基本的なものは、堤防の高さと天端の幅とのり勾配・材料でございます。

堤防の高さは、H. W. Lの上に余裕高と称しまして、構造的な余裕としまして、流量に応じて設定するようになっております。

具体的には、ここに書いてありますような項目を考慮しまして、結果的には流量に応じて余裕高を決めているわけです。

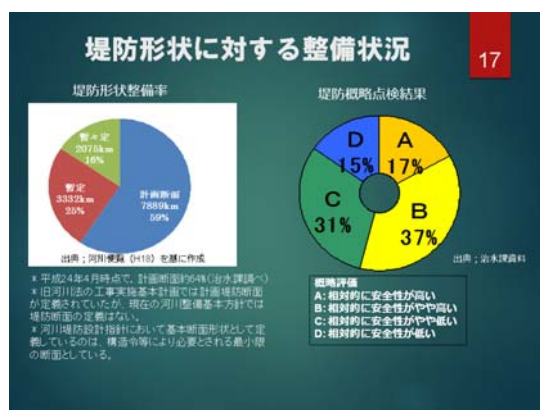
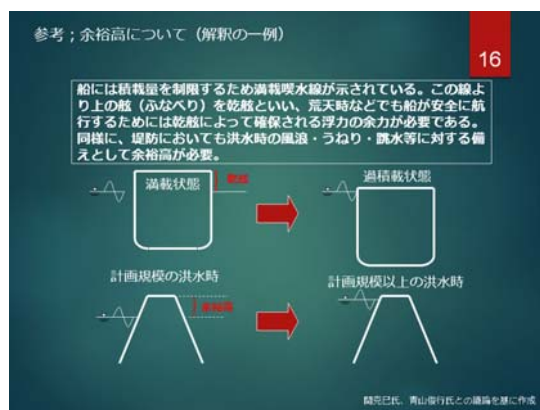
締固め管理ですが、これは細粒分の含有率に応じて締固めの方法を変えています。土をやっている先生でも、国の基準値を意外とわかってない方もおられるかも知れませんが、締固め管理というと密度管理ばかりを考えますが、決してそうではございません。いわゆる細粒分が多いのは、空気間隙率、飽和度、この2つで締固めを管理するようになっております。ややもすると、現場の方はこれを忘れて密度管理して、例えばローム層の土を使った堤防を密度管理で90%まで持っていく。そうするとオーバーコンパクションで、ブワンプワンの締固めをして、逆に何のための締固めか、できたものは機能を有さない土構造物になる。締め固め管理と一言言うのですが、奥深いものがあります。細粒分含有率といいますが、それによって空気間隙率が違いますので、何を指標に締固めをするかというのが大切なわけです。



余裕高に移ります。これは関克巳さんと青山俊行さんと議論をしたときのものです。事務局の佐古さんがつくっていただいたいのものを載せていますが、船と比べるとこんなことが言えるのではということで絵にしたものです。世の中に余裕高というのをどう説明するのかというときに色々考えたものですが、船というのは満載状態を考えて、乾舷というのがあるんですが、乾舷が堤防の余裕高なんだというようにことを言えないかなと思い作成したものです。いずれにしても、余裕高については、今、構造令で流量に

応じて規定されていますが、いずれ次の時代には、なぜその高さが必要なのかという時代が来るので、しっかりとした論理武装をしておかなければいけないと考えております。

次に、先ほどのような考え方で整備した堤防の整備状況です。最近、河川便覧は改定しておりませんので、最新のものではありませんが、平成18年の河川便覧で見ますと、計画断面という、今で言う基本断面形状を満足するようなどころまで行っているのが60%、4割はまだそこまで行っていない。量的にもまだ整備途上だということです。16%は未だH.W.Lまでも行っていない堤防があるというような状況だということです。平成8年の概略点検及び相対的安全性評価に基づく結果でございますが、A、B、C、Dとランクづけしまして、Dが悪くて、Aのほうが相対的に安全性が高いと言われていますが、Dというところにランクしているのが15%、Cが30%、併せて4割以上は何か怪しい。概略的にも怪しいというような状況でございます。



取組みその2としまして、平成14年からやってきました堤防設計指針に基づく安全性照査と強化対策です。改定前の河川砂防技術基準の設計編の中に「完成堤防」という文言がありまして、完成堤防というのは、改修計画で定める断面に至った堤防を完成堤防と称していました。形だけが満足すれば完成という定義はおかしいという問題意識がありまし

て、やはりほかの構造物でやっているような外力により耐力を照査するというのをその時代の標準的な技術として採用して取り入れるべきではないかという気運が起こりました。それで、堤防設計指針では、浸透、侵食、耐震に対する安全性照査手法につきまして、当時の最先端ではないかも知れませんが、一般的にやられる標準的な方法を定めたということでございます。

あわせて、強化対策につきましても、強化対策のガイドラインをつくりまして、安易に遮水シートとかに頼らずに、断面を拡大するというのを優先しなさいというようなガイドラインもつくっております。

こういうものができた背景としては、被害からの知見と大学レベルでの研究成果が大きかったと思います。その中でも特に、非常に大きかったのは堤防実験での成果であります。先ほど間宮さんが説明していただいた江戸川での堤防実験、5年間やったこの成果が先ほどお話ししました基準類の作成に非常に大きな役割を果たしております。言い方を変えますと、江戸川実験堤防がなければ、今のような基準の改定とか、施策というのは相当遅れていたのではないかと個人的には思っております。

取組その2:安全性照査と強化対策 18

照査項目・方法

- 耐震性照査
 - すべり破壊
 - パイピング破壊
- 耐浸食性照査
 - 直接侵食破壊(表のり面、のり圧表面)
 - 側方侵食破壊(高水敷の侵食・洗掘)
- 耐液状化照査
 - 二次災害の防止(堤防変形による河川水の流出)

※河川構造物の耐震性照査指針(案) H19、H24改定による

※種門等構造物周辺堤防は専門家を導入した点検評価

強化対策(質的対策)

質的対策は基本断面形状(計画断面)までの整備。基本断面形状において所定の安全水準が得られない区間で強化対策を行うことを質的整備としている

- 水を入れない(遮水シート、表面被覆等)
- 入った水は速やかに排出する(ドレーン工等)
- せん断強さの大きい材料とする、動水勾配を緩やかにする(断面拡大、緩傾斜等)
- 耐力を強化する(護岸等)
- 侵食外力を低減する(縦横断面形状変更、水制等)

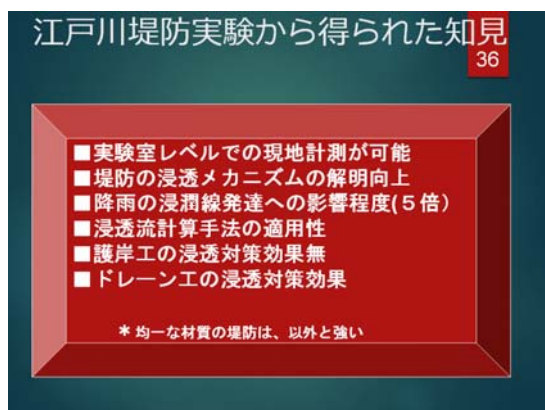
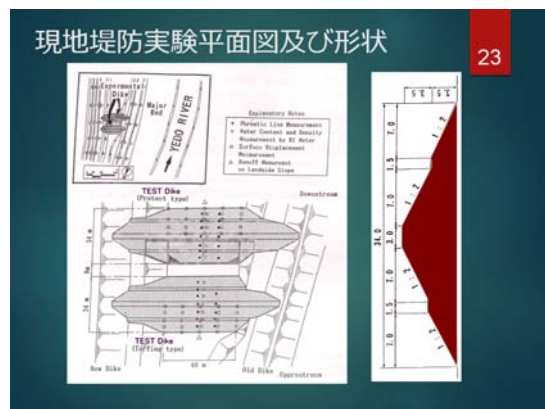
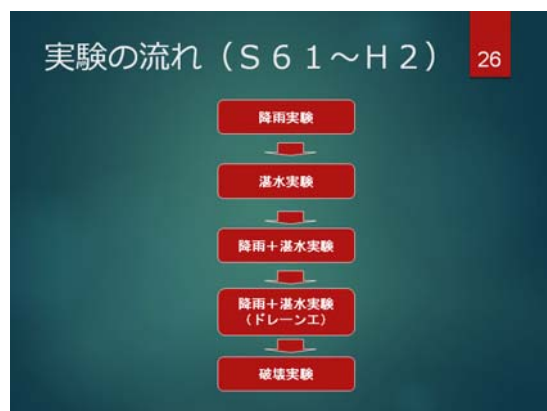
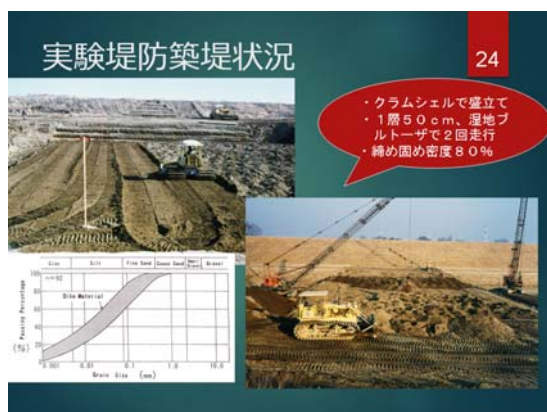
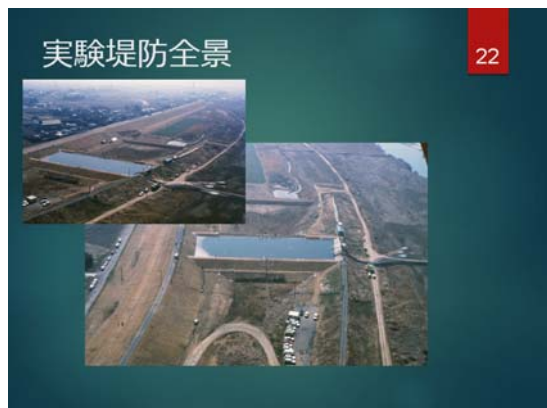
実物堤防実験の主な事例 20

実施河川	実施期間	堤防規模・土質等	実験内容	備考
筑後川	H56~57		浸透・橋本実験	
江戸川	H61~H62	・断面に關し、土質・地質・河床(標準)の検討、設計 ・水防堤長: 17m、小段あり ・堤高: 3.4m ・堤頂幅: 4.0m ・実験堤長: 約50m	・浸透実験 ・液状化実験 ・高水敷実験 ・側方・橋本実験 ・レーン工の効果検証	最長は長堤 実験での標準
筑後川	H64~5	・断面に關し、土質・地質・河床(標準)の検討、設計 ・堤高: 3.4m ・堤頂幅: 4.0m ・実験堤長: 約50m	・レーン工の効果検証 ・液状化実験 ・側方・橋本実験 ・レーン工	
一関遊水池(磐井川)	H64~5	・断面に關し、土質・地質・河床(標準)の検討、設計 ・堤高: 1.2~1.5 ・実験堤長: 1.5m~2.0m(東区)	・橋本による地盤の液状化実験 ・液状化実験 ・側方・橋本実験 ・レーン工	江戸川実物堤防実験がなければ、現在の基準や各種施設推進も遅滞
焼香別川(石狩川)	H17~H18	・断面に關し、土質・地質・河床(標準)の検討、設計 ・堤高: 約4m ・堤頂幅: 1.25~1.3 ・実験堤長: 約10m	・高水敷に對する浸透実験 ・高水敷実験 ・側方・橋本実験 ・50%高水敷(新築堤)	
須川(最上川)	H18~H19	・断面に關し、土質・地質・河床(標準)の検討、設計 ・堤高: 約3m ・堤頂幅: 約1.5m ・堤勾配: 1:2 ・実験堤長: 10m	・浸透・橋本実験 ・側方・橋本実験 ・液状化実験 ・高水敷実験 ・50%高水敷(新築堤)	

江戸川堤防実験の概要 21

降雨及び河川水が堤防に与える影響を把握すると共に、ドレーン工の効果を評価

この実験につきましては、間宮さんがお話ししましたので省略しまして、何が得られたかということだけ私なりにまとめたのが36ページです。いわゆる実物堤防の実験でございまして、実験室レベルでの計測がほんとうに可能なのかというのが非常に不安視していましたが、それに近いレベルでの計測ができるようになった。

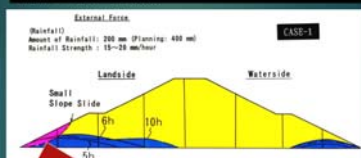


また、堤防の浸透メカニズムの解明が非常に向上した。降雨の浸潤線発達への影響程度は単に河川水のみが作用した場合に比べると、降雨浸透があることによって、浸潤線は5

降雨実験結果

28

総降雨量：105mm（但し、自然降雨量約80mm）
時間雨量：15～18mm



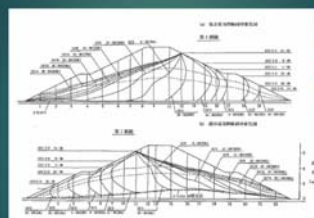
総雨量105mmの時に裏のり部で小規模なクラック、すべり発生

護岸堤では浸潤線の発達遅い（降雨ははじく）

長期湛水実験

29

張芝堤



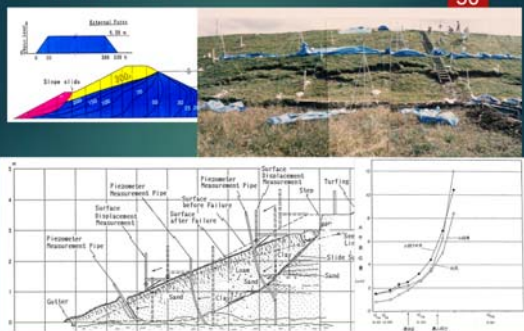
護岸堤

・概ね170時間でのり部到達、300時間ではほぼ定常状態
・浸潤線の発達は同様！

護岸は、浸透対策として効果は期待できない

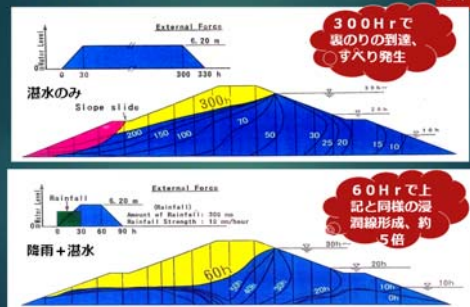
湛水実験

30



降雨+湛水実験

31

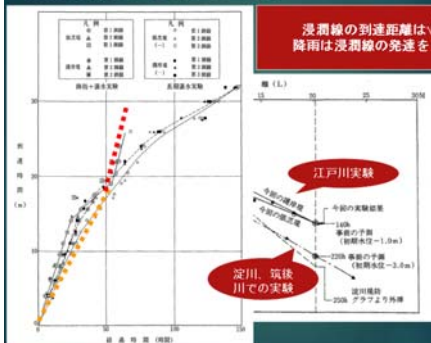


300Hrで裏のりの到達、すべり発生

60Hrで上記同様の浸潤線形成、約5倍

浸潤線の到達速度

32



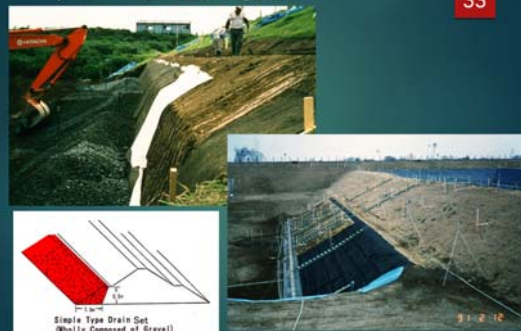
浸潤線の到達距離は $\sqrt{t}$ に比例
降雨は浸潤線の発達を5倍早める

江戸川実験

淀川、筑後川での実験

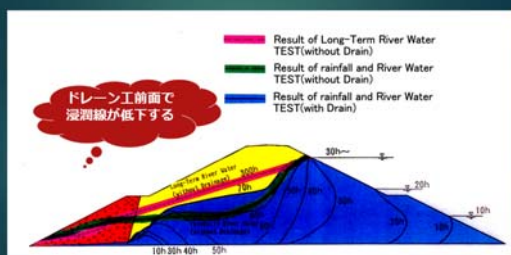
ドレーン工の施工

33



ドレーン工の効果

34



ドレーン工前で浸潤線が低下する

最後に崩壊実験（降雨のみ）

35



総降雨量800mmで崩壊発生

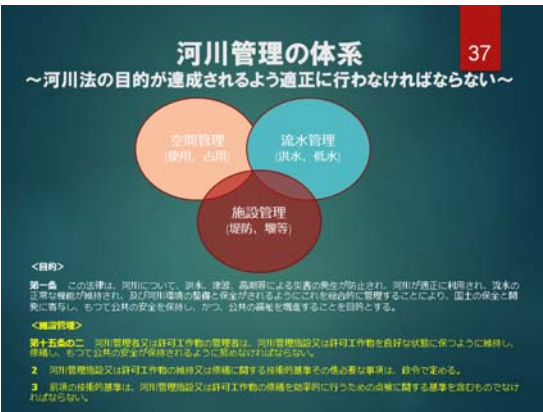
倍の速度で発達する。浸透流計算方法がどうも適用できそうだ。護岸の法覆工の浸透対策効果は小さいということが分かりました。さらに、ドレーン工の浸透対策効果はすぐれている。こういうことが得られた知見と思います。

次に、河川管理、堤防管理について、私なりに考えているところをご披露させていただいて、議論のたたき台になればと思います。堤防管理の前に、「河川管理とは何ぞや」というのがありまして、河川管理というのは河川法に基づいてやっているわけですから、河川法で何を言っているのかということでございます。大きく言うと、この絵にありますように、空間管理、いわゆる河川空域を管理する。占用であつたり、使用に対する管理です。次は流水を管理です。洪水のときの管理、低水のときの管理、いわゆる流れている水量・水位管理です。もう一つが河川管理施設の管理、堤防、堰や樋門等の構造物の管理が該当します。大きくは、この3つが河川管理と

言われております。河川法の改正によりまして、施設の管理という条項が実は平成25年に加わりまして、第15条の2というのが加わっております。これは笹子トンネルの落盤事故等を受けて国交省全体として動いた結果として、道路も、道路法の中に施設管理という条項

が入り、河川も入ったという背景がございます。この中では政令で定める事項も書いてまして、第15条の2項で河川管理施設又は許可工作物の維持又は修繕にかかわる技術的基準その他必要な事項は、政令で定めるということで、政令で定めなさいとなっております。どういう政令をつくって、どういう基準をつくって維持管理していくかということで、既に作成しておりますが、国交省も非常に悩んでおるところではないかと思われま

先ほどの話は堤防だけではなくて、河川管理全体の話をしたわけですが、堤防の管理となると、堤防決壊による水害訴訟をしっかりと勉強していないと語れないと思い、私なりに少し水害訴訟をまとめてみました。これには非常に時間がかかり、間違ったまとめ方をしているかも知れませんので、今岡さん等か



堤防決壊による主な水害訴訟					
河川名	外力	裁判名称	裁判所・時期	管理瑕疵の有無	備考
加治川	昭和31年7月12日 台風：250mm 水位：一部浸水	加治川水害訴訟	新潟地裁 昭和34年7月12日 東京高裁 昭和34年10月21日 最高裁	・堤防箇所では無 ・決壊箇所では有 ・決壊箇所（自衛防）の 瑕疵無	・高水護岸を築き上げた点について問 題となし ・高水護岸を築き上げた点について問 題となし ・高水護岸を築き上げた点について問 題となし
多摩川	昭和34年7月12日 台風：100mm 水位：一部浸水	多摩川水害訴訟	東京地裁 昭和34年7月12日 東京高裁 昭和34年10月21日 最高裁	・国の管理瑕疵 ・国の管理瑕疵 ・国の管理瑕疵	・高水護岸を築き上げた点について問 題となし ・高水護岸を築き上げた点について問 題となし ・高水護岸を築き上げた点について問 題となし
長良川	昭和31年7月12日 台風：100mm 水位：一部浸水	長良川水害訴訟	名古屋地裁 昭和34年7月12日 名古屋高裁 昭和34年10月21日 最高裁	・国の管理瑕疵 ・国の管理瑕疵 ・国の管理瑕疵	・高水護岸を築き上げた点について問 題となし ・高水護岸を築き上げた点について問 題となし ・高水護岸を築き上げた点について問 題となし

らいろいろご指摘いただきたいです。資料入手が容易であった加治川と多摩川と長良川の3つについて、整理したものです。外力、裁判名称、裁判所あるいは時期、管理瑕疵の有無、備考という形で整理しております。加治川につきましては、昭和42年に決壊して加治川水害訴訟が起きまして、新潟地裁、東京高裁、最高裁となりました。東京高裁では、危険があることを水防関係者に助言していないことを瑕疵としておりますが、最高裁におきましては、大東判決が昭和59年に出ていまして、その影響を相当受けたと思いますが、全国の一般水準から見て、安全性は欠けていないということで瑕疵は取り消されたということです。ちなみに、加治川はその前の年にやられていて、そこを復旧していた仮堤防のところが決壊したのです。

多摩川ですが、昭和49年9月に堤防が決壊しました。昭和54年に、東京地裁では国の管理瑕疵を認めておりまして、東京高裁では、管理瑕疵は認めていない。やはりこの間に大東水害の訴訟がございまして、同種同規模の水準から照らして同等の水準であればよろしいという判決が出ており、それに引きずられたのではないかと考えております。しかしながら、平成2年の最高裁では、多摩川というのは計画に準拠した改修がなされた河川と同程度になっているとし、完成に近い河川で決壊を起こすとは何事だと判断し、差し戻しがございました。差し戻された東京地裁では、さらに堰の災害の予見性があって、対応ができたはずだとしております。いわゆる災害の予見性というものに対して言っております。実はこの宿河原堰と同じような被災というのが補助河川の鹿児島県の金丸堰というところであったと裁判の記録にあります。知っていたじゃないかということです。知っていたのにどうして処置もしなかったか、あるいは上宿河原堰でも前に同じような被災があったというようなことで、非常に計画に近い改修がなされた河川において、災害の予見性ができたはずだというようなことで、管理瑕疵がとわれました。



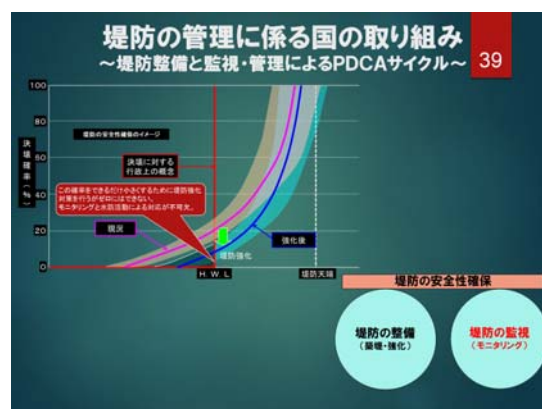
長良川でございまして、昭和51年に先ほどの決壊があったわけです。安八と墨俣、2つの地区が訴訟を起こしていますが、墨俣は途中で取り消しております。安八につきましては、岐阜地裁のときには管理瑕疵があった。名古屋高裁で管理瑕疵がない。最高裁でも管理瑕疵がなしということになっております。最高裁の管理瑕疵がないという判決は、河

川管理の特質に由来する諸制約のもとでの同種同規模の河川の管理の一般水準及び社会通念に照らして是認し得る安全性を有していたというようなことで、国の主張が認められておるということです。

河川管理は国賠法で言うところの管理瑕疵をうけないことだということではなくて、やはり堤防の管理を考える上では、堤防決壊のときにどんな裁判判決がされていたのかということ、前もって知っておくことが重要なこと、私なりにまとめてみました。

重要キーワードですが、「同種同規模の河川の水準と照らしてどうか。」「災害の予見性があったのか、ないのか。」「改修途上なのか、改修済みなのか。」ここがポイントでありまして、河川管理は、災害の予見性という部分については非常に気を使った管理が必要ではないかと思います。

次のスライドに移ります。先ほどの堤防の信頼性と非常に似た図ですが、縦軸に堤防の破壊確率をとりまして、横軸に水位をとりました。水位が高くなっていくと破壊確率が大きくなっていく。堤防計画では、H. W. Lまでは破壊確率はゼロにしまして、H. W. Lに達すると破壊確率が急に100になる。こういう割り切りのもとに便益等をやっておるわけですが、現実の堤防の破壊確率を考えると滑らかに、水位が高くなるに応じて、H. W. Lを超えるに応じて急に高くなるようなことだと思います。現実にはある幅があるわけですが、安全性照査をしまして強化対策をやり、ここまで持てきたい訳ですが、どうしても破壊確率ゼロまでは持ていけないのではと考えます。目標は破壊確率ゼロにしたいですが、0.01%とか、0.1%か、1%かわかりませんが、ゼロにはできない。従ってモニタリング、監視と水防活動によって対応することが不可欠ではと私なりに考えたということでございます。



後で出てきますが、H. W. Lから天端までの問題というの、いずれ施工も計画も含めてどう考えればいいのか重要になってくると思います。

まとめますと、堤防の安全性の確保は、堤防の整備と堤防の監視、水防によって支えられているということになるのかなと思っております。

先ほど言いました河川法の15条の2の政令で定めるという条項がありますが、具体的な維持修繕に関する技術基準につきましては、ここに書いてあるようなとおりでござい

また、適切な時期に、目視その他適切な方法により監視を行う。これを補うものとして、「堤防等河川管理施設及び河道の点検要領」でやっていくということです。さらに、1年に1回以上の適切な頻度で行うと書いてございますので、それを公表することになる。最後は、PDCAサイクルを回すという流れに政令はなっていると私なりに考えております。

また、目視点検時には、過去の目視点検結果であるとか、堤防にかかわる各種情報を熟知しておかないといけない。見るだけではなくて、しっかり診察しなさいということです。特に、植生であるとか、のり尻の湿潤化を見逃さないこと。重要なことは、状態の変化を点検、監視するわけですので、変状位置・規模はデジタル化して、しっかりと次に伝えられるようにしておくということがポイントだと思います。

河川管理施設等の維持又は修繕に関する技術基準等

40

第九條の三（第三十五條の二第二項の法令で定める河川管理施設又は許可工作物の技術的基準その他必要な事項は、次のとおりとする。）
 の維持又は修繕に関する

河川防砂技術基準
維持管理
河川監視規定
・通報手続
・目的達成

- 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（次項において「河川管理施設等の構造」という。）を総覧すると、適切な維持、適切な修繕を行う必要があり、その維持及び修繕のための河川管理施設等の機能（許可工作物にあっては、河川管理上とされるものに限る。）を維持するため必要となる措置を講ずること。
- 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、目視その他の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で定める河川管理施設等であつては、一年に一回以上の頻度で行うこと。
- 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、国土交通省で定めると。

堤防等河川管理施設及び河川の点検要綱

P D C A サイクル

堤防における点検のポイント

41

- ・状態（機能）を監視し、目標水準（健全度）を満足しない場合には特別監視あるいは補修・増強
- ・状態監視は、目視点検とセンサによるモニタリング
- ・目視点検時には、過去の目視点検結果、概略点検結果や詳細点検結果等の既往情報を熟知
- ・状態を知るのに役立つ。堤防の不安定化要因・メカニズムを熟知
- ・腐性植物、土の圧迫の発露化、形状の不整、変状を見逃さない
- ・状態の規模、経時変化が分かるよう変状位置・規模はデジタル化する

出典：モニタリングによる費用対効果調査（JRCF）

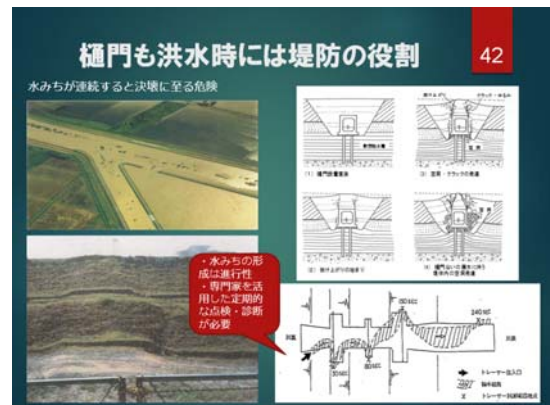
態になっております。ところが、全国の直轄河川で見ても、1万3,000位は樋門がありますが、そのうち8,000位はいまだここに書いてあるような杭支持の構造物でございますので、そういう残存する杭支持のものについては、弱点部になるという認識のもとに、水道が形成され、進行はないかというのをしっかりと点検する必要があります。水道の形成というのは進行性だということを言われております。これは点検して、その後、底盤周辺に空洞ができていうことで、グラウトをしますが、残念ながら、5年後に点検したら、また空洞になっているというようなことがございます。

最近でこそ堤防の内部侵食は進行性とか言う先生方もいらっしゃいますが、内部侵食の進行というのは、樋門周辺は実証データもあり確実に言えると思います。そのために専門家を活用した定期的な点検、診断というのを取り組む必要がある。これは、今岡委員がワ

ーキングの座長をやっていただいたときに、専門家を何しろ取り入れろというアドバイスがございまして、平成13年から5年かけて点検した実績がございまして、それをまた10年後にやっていくなど、繰り返しが重要なのではないかなと思います。

被災から学ぶ堤防管理の視点というのも必要でございまして、2例ぐらい挙げます。利根川右岸の139キロ付近が2001年に漏水がありました。どういう箇所かという、基礎地盤の透水層が途中でとまっていて、非透水層になっている。平面的に見て行きどまり型を呈していたというのと、旧堤防との交差部という場の条件でした。こういうところは非常に注意して点検する必要があるのではないかとということで、あえて載せております。

もう一つは、斐伊川の右岸7.5キロ付近で生じました2006年の漏水被害です。これは斐伊川の強化対象の一部において、失敗だったのではという例であります。ここが陥没しましたが、この絵を見てください。ボーリングによる断面土質想定図によると、のり尻



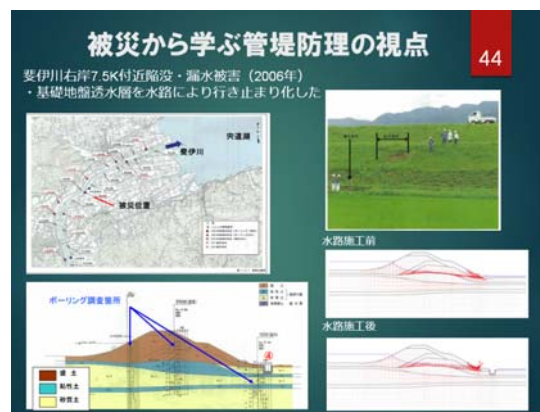
には砂層がありました。ところが、ドレーン工設置時に農業排水を処理するというので、のり尻部に水路をつくりまして、基礎地盤表層の透水層をこの水路で止めてしまったのです。それまでは堤内地側へ多分うまく抜けていたと思いますが、これを止めたがために、堤体に入ってきた浸透水等が

行き場がなくて上に上がっていくということで、ここが浸潤化して、強度が低下して陥没した可能性があるなという事例でございます。基礎地盤の透水層がある場合には、水路等をつくる場合に非常に要注意、どういう水路をつくるかというのは考えましょうという例でございます。

時間になりましたので、将来の堤防の安全性確保に向けた技術課題については、このスライドを見ていただければと思います。私なりに考えている洪水、地震に対しての課題をあげてみました。重要なことは、波々線で書いておりますように、課題解決に当たっては、装置、技術、道具の開発と、法制度や組織、人の整備とのバランスが非常に重要なわけで、しっかりと考えて課題解決しないと、技術的に課題解決したとしても、施策としてはうまくいかなる場合がありますということです。このバランスを考えてやっていくのが重要ではないでしょうかということです。

最後に、今の世の中の動き等も踏まえて、私なりに治水や河川堤防についての思いをまとめてみました。河川そのものが前世代から引き継いだものでございまして、その空間であるとか、堤防等の施設を次の世代にどのような形で引き継ぐかというのが非常に重要なことです。これは河川管理者だけではなくて、大学の先生もそうですし、民間の我々もそうですし、関係者全体で考えていかないと、良いものを次の世代に引き継ぐということです。

一つは、危機管理の治水システムとして、冒頭に話しました直列型の堤防による防御システムを改良していったらどうかということです。直列ですので、信頼性理論で言うと、



堤防の安全性確保に向けた技術課題等 ～課題解決にあたっては、装置(技術)と制度(法制度、人)の整備とバランスが重要～				
	計画・調査手法	調査・設計手法	強化対策	維持管理
洪水	- 堤防の弱点箇所抽出 - 被災堤防の断面調査 - 地盤的土質調査法	- 堤防メカニズムの解明 - 調査手法の適合性 3次元的地盤の評価	- 防壁の持続性 - 耐用年数、更新計画 - 技術	- 維持管理水準と堤防機能低下の把握 - 堤防状態の把握と対応
地震	- 被災堤防の断面調査 - 断面の繰り返し調査	- 堤防メカニズムの解明 - 調査手法の適合性 - クラック、堆積の影響	- 震害影響の対策技術と設計法 - 防壁の持続性	堤防状態の把握と対応
その他	- 被災時に緊急調査 - 設計と施工のシグナル(信頼性設計手法) - 信頼性設計手法 - 形状等の技術的課題	- 弱点箇所の絞り込み - 堤防の物理的・化学的・生物学的調査手法 - 信頼性設計	- 施工管理技術 - 材料・施工方式の検討 - 信頼性技術 - 信頼性の取り入れ	- 健全管理、天候管理(天候予測) - 各種センサーの活用 - 定期的な堤防点検

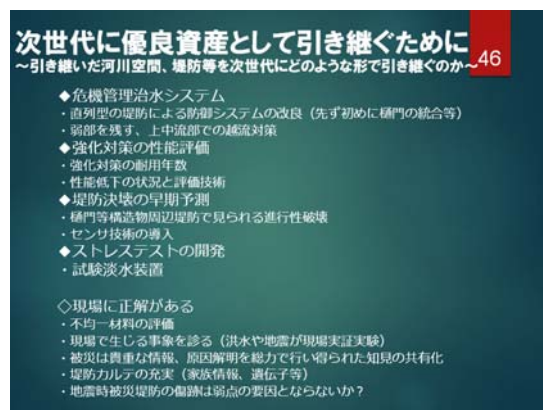
ある区間が90%の信頼性確率、次のところが90%だと、 0.9×0.9 で、0.81です。つまり81%の信頼性となり、どんどん破堤確率が大きくなっていきます。そういう直列的な防御システムというものをとっておりますので、そこをできるだけ改良していくことと思います。まず、初めに樋門、これは弱部だというのはわかってい

るわけですから、樋門の統合なり、補強というのをやっていくべきではないかと思います。

次は、逆の考え方ですが、弱部をわざわざ残すということです。民主主義に反するかも知れないが、弱いところをあえてわからなくして強化するのではなくて、弱部を残し、ある一定の外力以上になったら、そこが必ず切れるようなシステムのほうがリスク管理としてはうまくいくだろうと考えます。言い方を変えると、下流で越流対策をやるのではなく、上中流域で越流対策をやって、下流に大きな洪水が来ないようにしておくことです。こういう治水システムがあるかと思います。

3つ目が強化対策の性能評価です。堤防に限らず、対策費用、長寿命化の対策もそうですが、耐用年数の評価が十分できていないで踊っているところがある。強化対策の耐用年数というのをしっかり評価しまして、長寿命化につなげていくということです。そのためには、性能の低下状況を判断する評価技術を磨かないといけない。例えば、オランダはすごいと思いましたが、本城先生からいただいた資料を見ると、矢板を打ったときに、試験用矢板として10年後にあるいは20年度に引き抜いています。どういう腐食状態になったかとか、機能はどうなっているかを調査するわけです。ドレーン工等の対策工の効果モニタリングは今、治水課が音頭をとってやっていると思いますが、例えばあるときになったら、はがしてみて、どうなっているか見る。こういうことも一連のPDCAの中に入れたらどうかと思います。

4つ目が、堤防決壊の早期予測ということです。進行性破壊の樋門周辺のところは、早期な対応というのが必要かと思います。あるいは樋門だけに限りませんが、目視の限界というのはありますので、夜間に出水があって堤防が変状しても多分わからないと思います。ですから、センサ類を使って、しっかりとそれらを活用した堤防管理というのも重要な課題です。



あともう一つは、ストレステストの開発。例えばこの堤防委員会が主体になって、国土センターが特許をとってもいいかと思いますが、いわゆるダムは試験湛水をやって漏水量、変形量をはかりますが、ストレステストができないという堤防をどうすればいいのか。では、ストレステストの装置を開発しようということでありまして、先生方、いろいろアイデアがあると思いますので、土、河川の先生が一緒になり、そういう技術開発もやるべきではないかということです。

また、現場に正解があるというのを常日ごろから持って仕事をし、施策を提案していく。不均一材料の評価や、現場で生じる事象をしっかり診る、診断するということです。

最後は、堤防カルテの充実と書いてございますが、堤防というのは、ある分割をしていくと、その分割は家族に相当するのではと思うのです。我々は家系図があり、病院ではカルテがありますが、堤防にも家族情報を与えて、どういう遺伝子を持っているのかというのがわかるようにしたらどうか。なぜこんなことを書いているかというと、地震時の堤防の傷跡、あるいは決壊時の破堤跡というのは弱点箇所、悪い遺伝子として或ります。地震のときに復旧、今は地盤改良をまずして復旧しますが、かつては原形復旧が原則ですから、みえない所に多少の空洞とか、傷跡があるのではと思います。そういうのを隠されたまま堤防ができている可能性があるということです。あるいは決壊や被災の後にしても、大量の土砂が投入されて、そこを全部取り除いての再築堤はしませんので、そういう家族情報、遺伝子情報をしっかりと次に伝えるというようなことでございます。

以上で、私が本日用意しました説明を終わりにいたします。ご清聴ありがとうございました。

— 了 —