

河川堤防の温故知新 —堤防への思い—

間宮 清
応用地質株式会社
元顧問



ただいまご紹介いただきました間宮でございます。この堤防委員会に加えていただき、本当にありがとうございます。本日は、河川の大家の皆様方の前でお話をするということは大変恐れ多いことだと思っております。ただ、長らく現場をやってきた経験を踏まえまして、話題提供という意味で、「河川堤防の温故知新—堤防への思い—」という題でお話しさせていただきます。1時間程度のおつき合いをお願いいたします。

さて、我が国の堤防の始まりは、ご存じのように、茨田堤に始まります。茨田堤は、「まんだのつつみ」、「まむたのつつみ」、「まぶたのつつみ」などと呼ばれているようですが、ここでは「まんだてい」で通していきます。『日本書紀』によりますと、仁徳天皇の11年、天皇の詔により、北の河の滌、これは「こみ」と読みますが、滌を防ぐため、茨田堤を築いたとあります。また同時に、難波宮の北側の堀江というところを開削し、河内平野に流入している古大和川の水を速やかに海に排水したということが書かれてあります。

茨田堤の工事は、当時の淀川とその分流に沿って、左岸側に堤防を築いた大工事でありまして、20キロ程度にわたる堤防だったと思いますが、それを渡来人の技術も使ってつくられたと言われております。今も、その一部が茨田堤跡として残っておりまして、そこに私は行ってまいりました。

平成26年11月7日 堤防委員会 講演資料

河川堤防の温故知新 —堤防への思い—

2014年11月7日

間宮 清

1

1. はじめに

「茨田堤」に始まる我が国の河川堤防

- 日本書紀によると、仁徳天皇11年(323)、天皇の詔により、北の河の滌(こみ、淀川分流からの氾濫)を防ぐため、茨田堤を築いたとある。
- 同時に難波宮の北側の堀江(天満のあたり)を開削し、河内平野に流入している古大和川の水を速やかに排水し、田や住居を守ったとある。
- 茨田堤の工事は、当時の淀川とその分流(古川)に沿って、左岸側(南側)に堤防を築いた大工事であった。
- 注：仁徳天皇の在位に諸説あり、日本書紀では313年～399年、古事記では394年～427年である。

2

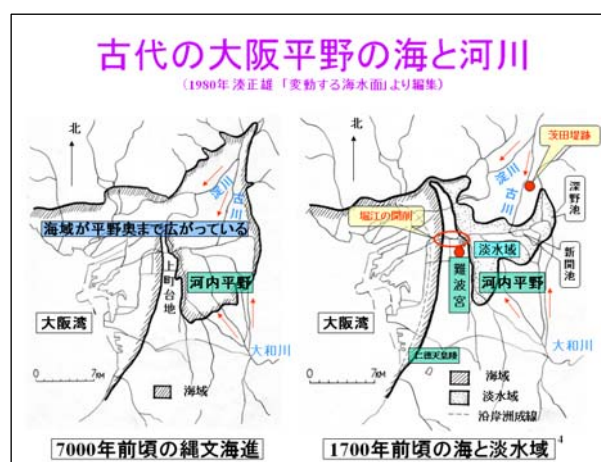
大阪の京阪電車で大和田という駅の近くに茨田堤がございます。この茨田堤の北側に古川という川がありまして、現在は真っすぐな排水路状になっております。図を見てわかるように、今の茨田堤防は、高さが2メートル程度。そして、のり勾配は4割程度ありまして、天端の真ん中にはクスノキの大木が生い茂っているという状況にあります。この堤防を守護神として、隣に堤根神社がございます。現在、幅11メートル、長さが50メートルという堤防が残されており、昭和49年に大阪府の史跡に指定されております。

この堤防の場所は、P.4の「古代の大阪平野の海と河川」の右図の赤丸印の位置です。7000年前、いわゆる縄文海進の時は、海は、非常に大きく、河内平野、

今の大阪平野の奥まで広がっていました。図の中央に位置する上町台地は海に突き出ている状況にあり、台地の北側のあたりは、まだ、海を閉塞していない状況にあるのですが、その後、海が後退していきまして、今から1700年前頃には、上町台地の北側の洲は、北に発達し、河内平野の海を閉塞し、河内平野を淡水化していました。そして、難波宮が上町台地の北端にあります。すぐ北側のところが「堀江」と言われています。今の天満橋とか、天満のあたりです。そこを仁徳天皇によって開削されておりますが、その前までは、この河内平野の淡水域の水が極めてはげにくく、土地利用上、難渋していたと言われてい

ます。

また、淀川から、分流した古川、この河川は出水期に非常に大量の水をもたらし、洪水を起こすというようなことがあって、河内平野の人々は非常に困っていたという状況にありました。その対策として、堀江を開削して、淡水化した日常の水と、洪水時の流水を速やかに排水すると同時に、洪水時の水を河内平野に拡大しないように、淀川から古川沿いの左岸側に築いたのが茨田堤であると言われてい



修復しているというようなことがあります。奈良時代の茨田堤の決壊記録が2件、残っております。

P. 5に示しましたように、750年に賀茂川が氾濫し、京都の水害甚大、淀川筋の茨田堤が決壊というふうなことが書かれておりますし、宝亀3年の772年、淀川の洪水により、茨田堤6カ所が決壊したと書かれております。

この当時、堤防の管理や保守というのは、どのように行われていたのでしょうか。次に示しますように、既にその前、701年の大宝律令の宮繕令の中に河川のことを記されております。読み上げますと、「大河川の堤防は、国司、郡司が巡視すること。」「修築が必要な場合は、秋の収穫後に施工すること。」「修理の仕事量の多少を計算して、（これは利害関係の話ですが、）堤防付近に住む人から遠くに住む人の順に動員すること。」「大規模な破堤が生じた場合、時期を問わずに、直ちに修築すること。」「もし500人以上の人夫を要するときは報告すること。しかし、もっと急を要するときは軍隊を使ってもいい」というふうなことを書いております。「ただし、使役する日数は5日以内に定めなさい」と、非常に現代に通じるようなことが記載されております。

また、「堤防の内外、表裏及び上に、天端ですが、ニレや柳などの樹木を植えて堤防を強くしなさい。そして、必要に応じて、そういう木を切って堰堤用に使いなさい」というふうに、防災として驚くようなことが書かれてありました。

先ほどまでは関西の話でしたけれども、今度は関東のほうに移らせていただきま

奈良時代の茨田堤の決壊記録

天平勝宝2年(750): 孝謙天皇期
賀茂川が氾濫し、京都の水害甚大、淀川筋の茨田堤が決壊する。

宝亀3年(772) : 光仁天皇期
淀川の洪水により、茨田堤6カ所、洪川堤11カ所決壊する。

(1972 第3刷 土木学会編 明治以前日本土木史より)

5

我が国の最初の治水に関する制令

大宝律令の宮繕令

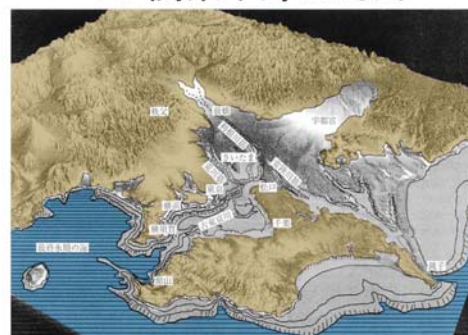
(大宝元年(701)文武天皇により発布)

- ・大河川の堤防は国司、郡司が巡視(管理)すること
- ・修築が必要な場合は、秋の収穫後に施工すること
- ・修理の仕事量の多少を計算して、堤防付近に住む人から遠くに住む人の順(利害の順)に動員すること。
- ・大規模な破堤が生じた場合は、時期を問わず、直ちに修築すること。もし、500人以上の人夫を要するときは報告すること(補助金?)。しかし、もっと急を要する場合は、軍団の兵を用いることを許す。使役する日数は5日以内と定める。
- ・堤防の内外、及び上に楡、柳、雑木を植栽し、堤防を強くし、(必要に応じて)堰堤用に使用すること。

(注) 上記の内容は、養老2年(718)の養老律令によるものであるが、後の元正天皇が発布した養老律令の宮繕令は、大宝律令の内容と同じものとされている。なお、大宝律令の原文はほとんど現存しない。

6

2. 関東平野の河川



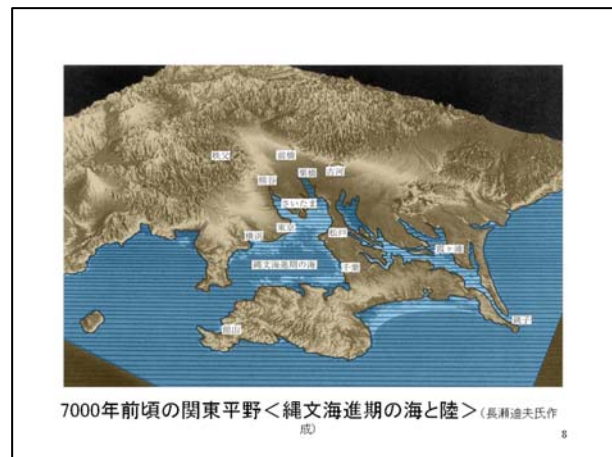
2万年前頃の関東平野<最終氷河期の海と陸>(長瀬通夫氏作成)

す。P. 7は最終氷河期の2万年前頃の関東平野の地形状況です。海が非常に後退して、現在の海水面より130メートル程度低いところに海水面があったと言われております。このような状況で、かなり陸地化をしていました。

次に、先ほども大阪平野で言いましたが、7000年前頃の関東平野、これは縄文海進のときですが、よくご存じのように、海は関東平野の奥まで来ていたというようなことがわかりいただけるかと思います。

次に、平安時代ですが、1000年前頃の平安時代の関東平野の河川は、利根川筋が荒川、それから入間川と合流して東京湾に注ぎ、そして、渡良瀬川も江戸川筋を通して東京湾に注ぐ。また、常陸川は多くの沼を連結しながら流れており、鬼怒川、小貝川なども複雑な動きの中でこの香取の海に合流して流れていくというふうなことが伺えます。この流れというか、川筋は、ほとんど徳川家康が入府した1590年あたりまで変わっていないと言われております。

P. 10は徳川幕府による利根川東遷事業の図でございます。文禄3年、1594年に会の川の締め切りに始まり、次に、新川通の開削、さらに赤堀川の開削、そして、荒川久下の締め切り、そして、鬼怒川・小貝川の分離というような事業が展開されていきました。そして、承応3年、1654年の3回目の赤堀川の開削でようやく利根川の水を常陸川の方に流し、そして、香取の海からさらに銚子まで流れていったというふうな東遷事業が行われたわけです。この東遷事業において、



関東平野の米の生産量は飛躍的に増大しました。当時、120万石あったものが200万石まで増加したという状況でありまして、徳川幕府の財政基盤が固められたと言われております。この事業の中心人物であった伊奈忠次、忠治の親子の60年にわたる努力というものは非常に大きな功績であると思っております。

しかし、この利根川東遷の狙いは何だったのか、というのは、利根川東遷そのものが初めからあれだけの計画をつくってどんどん進めたわけではなくて、そのときに応じた形で試行錯誤しながら作業をやってきたと言われております。東遷の狙いというのを、いろいろな研究者が言っておりますが、大体次の4つぐらいではないかと思えます。舟運を開いて物

利根川東遷のねらい

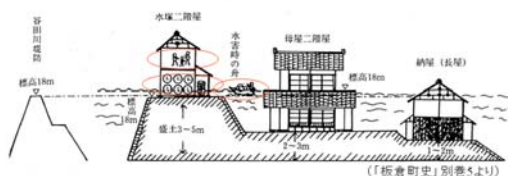
- ・ 舟運を開いて物流（兵糧、燃料、生活物資の運搬）を盛んにすること
- ・ 脅威であった東北の伊達藩や旧北条勢に対する防備として、利根川を江戸城の外堀化すること
- ・ 埼玉平野から利根川を東に、荒川を西に遠ざけ、新田開発などの土地利用を進め、財政強化を図ること
- ・ 江戸の町や利根川・荒川流域の住民と土地を水害から守ること

11

流を盛んにすることや、脅威であった伊達藩、あるいは旧北条勢、これらに対して、防備として江戸城の外堀化するとか、あるいは先ほど申しました新田開発をして財政を強化する。さらには、治水対策として、江戸の町や利根川・荒川流域の住民を守る、土地を守る。こういう目的があったと思えます。ただ、それぞれの時局によって、こういう目的意識がそれぞれ異なっているのではないかと思います。

徳川幕府のこういう大河川事業の効果というのは、極めて高い治水対策効果があったと思えますが、まだまだ浸水地域は多くありまして、そういう浸水地域の方々の自助努力というものは、非常に大変なものがあつたと思えます。P. 12は、よく見る図ですが、洪水に対する自衛策というもので、水塚（みづか）というものをつくっております。この水塚は、いわゆる木曾三川にある水屋（みずや）と同じものです。この水塚の1階には浸水に強い順に、麦、米、豆という順番に積み重ねており、水塚1階の右側は、実は味噌がめです。味噌のかめを置いて、ふたをして、仮に水につかっても、ぷかぷか浮き、食糧を守ったと聞いております。当然ながら、その2階というのは、人が

浸水危険地域の 洪水に対する自衛策 水塚(みづか)



自衛策として小高い盛土の上に水塚(みづか)を作った。洪水に備えて、水塚の1階には浸水に強い順に麦、米、豆などの穀類を積み、味噌、仏壇等は2階に上げた。いざ脱出の時や物資移動の時には、母屋や納屋の軒先に吊るして置いた板戸(あげふね)を利用した。

12

逃げていくのと同時に、濡れてはいけないもの、例えば、衣類とか、仏壇とか、そういうものを2階に上げておきます。万が一脱出という時には、母屋や納屋の軒下に揚舟という舟を荒縄で吊るしてありまして、その荒縄を切って、その舟を使って脱出するというようなことをされていたようです。極めて大事な自助防備、自衛策だと思います。実はこの揚舟が昭和22年のカスリーン台風のときに多くの命を救ったと言われております。

さて、江戸時代は去りまして、いきなり明治に入ります。明治以後の近代日本の河川事業ということを、おおざっぱにお話させていただきます。明治初期から中期ということですが、ご存じのとおり、明治維新政府はオランダのお雇い技師を招聘して、科学的、あるいは工学的な見地で河川改修をするということを学び、推進しました。

例えば大事なことです、水準原点をつくったとか、ドールンの「治水総論」などは特筆すべきことだと思いますし、利根川、淀川など、全国の主要河川、あるいは港湾の整備、そういうものの計画の立案や指導、助言などを行ったということでありました。こういう形で学んできたのですが、どちらかというとやや低水路対策ということでありました。

しかし、明治10年から20年にかけて全国的に大水害が発生し、政府は高水対策の河川改修を迫られました。運よく日清戦争の賠償金が明治28年に入り、国家の財政基盤が強化され、公共事業への資金投与も可能になりました。そのため、河川事業も改修事業の好機という形になったと思います。

ちょうどそのころ、明治29年、ご存じの河川法が制定され、淀川、利根川、あるいは信濃川などが次々と内務省の直轄河川となっていき、正式に国家の予算でもって河川改修事業が展開されたということであるわけです。その中心人物はフランス留学から帰国していた沖野忠雄氏でありまして、いわゆる明治の大改修

3. 明治以後の近代日本の河川事業

(1) 明治初期～中期

- ・明治初期、維新政府はドールン、リンドウ、デ・レーケ等のオランダのお雇い技師に学び、河川改修を推進した。
 - ・「水準原点」の設置(飯沼水準原標石、堀江水準標石)
 - ・ドールンは「治水総論」で河川技術の基本を示す
 - ・利根川、江戸川、淀川、木曾川、信濃川等の河川及び、主要な港湾等の整備計画の立案や指導、助言などを行った。
- ・しかし、明治10～20年代にかけて、全国的に大水害が発生し、政府は高水対策の河川改修を迫られた。
- ・日清戦争(明治27-28年)の賠償金により、国家の財政基盤が強化され、公共事業への資金投与も可能になった。

13

(2) 明治後期～昭和初期

- ・明治29年、旧河川法が制定される

明治 年	内務省の直轄となった河川
29	淀川、筑後川
33	利根川、庄川、九頭竜川
39	連賀川
40	信濃川、吉野川、高梁川
43	渡良瀬川

- ・フランス留学から帰国していた沖野忠雄を中心として、全国の河川改修が国家予算のもとで、大々的にスタートした。「明治の大改修事業」である。
- ・この改修事業は昭和初期まで続けられ、利根川を筆頭に全国の主要河川が次々と改修された。¹⁴

ということをやった立役者です。この改修は昭和初期まで続けられておりました。

昭和初期からの話ですが、利根川では昭和10年の大出水が明治43年の水位を栗橋、佐原で1メートル以上も超えたため、増補計画を余儀なくされたということでもあります。さらに、昭和13年と16年に関東だけでなく、関西のほうも大洪水が押し寄せて大変な状況にあったわけですが、戦争の混乱のため、治水事業が後回しに

なったということで、国土は荒れ、終戦を迎えたという状況にありました。

太平洋戦争を終えた後、復興期がありますが、敗戦後、復興に追い打ちをかけるように、戦後の昭和20年から34年の15年間は、台風や前線豪雨によって、大規模な水害が毎年のように発生しました。P.16に示すとおりですが、特に大都市圏を襲った昭和22年のカスリーン台風、25年のジェーン台風、昭和34年の伊勢湾台風などによって、我が国は極めて大きなダメージを受けました。カスリーン台風の後、すぐに、昭和24年、治水調査会によって、利根川を含む10大河川の治水計画を見直し、新たに多目的ダムを含めた治水計画が策定されています。

次に、昭和29年から48年に日本は高度経済成長期を迎えます。この高度成長期のときに、戦後の連続洪水に懲り、この洪水被害を克服するため、河川の洪水対策は施設規模を大きくすることに重点が置かれました。河道を拡幅し、堤防を高くし、断面を大きくし、連続した堤防を築き、高水をでき

(3) 昭和初期～太平洋戦争

- ・利根川では、昭和10年の大出水が明治43年の水位を栗橋、佐原で1m以上も超えたため、増補計画を余儀なくされた。
- ・さらに昭和13年と16年に大洪水が押し寄せたが、太平洋戦争の混乱と共に、治水事業は、後回しとなり、国土は荒れ、終戦を迎えた。

15

4. 戦後～昭和50年頃の河川事業

(1) 復興期

- ・敗戦後、復興に追い打ちをかけるように、戦後の昭和20年～34年の15年間は、台風や前線豪雨により、大規模な水害が毎年のように発生した。

昭和 年	台風等	昭和 年	台風等
20	秋津台風	28	梅雨前線豪雨
22	カスリーン台風	29	洞爺丸台風
23	アイオン台風	33	狩野川台風
24	キティ台風	34	伊勢湾台風
25	ジェーン台風		

- ・昭和24年、治水調査会によって、利根川を含む10大河川の新たな治水計画(多目的ダムを含む)が策定された。

16

(2) 高度経済成長期(S29年～S48年)

- ・戦後の連続洪水に懲り、その洪水被害を克服するため、河川の洪水対策は施設規模を大きくすることに重点が置かれた。
- ・河道を拡幅し、堤防を高くし、断面を大きくし、連続した堤防を築き、高水をできるだけ河道内にとどめ、堤内地に氾濫させないようにし、流水を速やかに海に排水する方針で、事業が推進された。
- ・経済成長に伴う資金力に裏付けされた、力技の高水対策は、全国でかなりの功を奏した。

17

るだけ河道内にとどめ、堤内地に氾濫させないようにし、流水を速やかに海に排水するという方針で、事業は推進されたかと思います。経済成長に伴う資金力に裏づけされた、力わぎの高水対策は全国でかなりの功を奏したと思います。

戦後30年を経た昭和50年頃には、全国の主要河川の堤防は、計画高水位以下の水を速やかに流下させるのに十分耐えるだけの河道と堤防の高さがほぼ確保されるに至ったようであります。しかし、昭和51年9月、台風17号がもたらした長雨は、中部地方を襲い、計画高水位に至らない河川水位で長良川の堤防が決壊し、大水害となりました。世に言う「長良川水害」です。

P.19は、その時の河川水位と降雨外力です。降雨は、5日間連続して降りました。総雨量は1,000mmを超えています。今では相当雨の強度が強くなって、降雨量も多いですけども、あの当時では、本当にびっくりするというか、仰天するような降雨量でした。そして、河川水は4波訪れております。ただ、この河川水は計画高水位以下の水位でございまして、堤防の高さも十分あり、堤防も大きいということもありまして、何とか耐えるのではないかと、地元の方も心配しながらも思っていたようでした。

しかし、5日目の10時、安八というところの堤防が決壊しました。いわゆる

長良川の「越水なき破堤」でございます。河川関係者は大変なショックを受けました。

この越水なき破堤を教訓として、堤防の安全性については、堤防の形、高さ、大きさ、

5. 長良川堤防の越水なき破堤

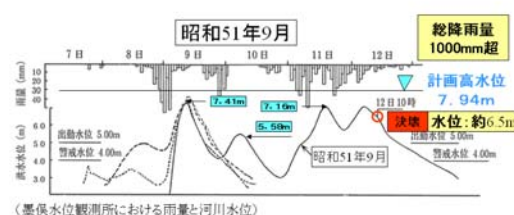
(1) 長良川水害

- ・戦後30年を経た昭和50年頃には、全国の主要河川の堤防は、計画高水位以下の水を速やかに流下させるのに、十分耐えるだけの河道と、堤防の高さがほぼ確保されるに至った。
- ・しかし、昭和51年9月、台風17号がもたらした長雨が中部地方を襲い、計画高水位に至らない河川水位で長良川の堤防が決壊し、大水害となった。(長良川水害)

18

(2) 昭和51年9月12日

長良川堤防の決壊時の水位と降雨外力



(墨俣水位観測所における雨量と河川水位)

19

(3) 長良川堤防の破堤後の検討

- ・長良川の越水なき破堤を教訓として、堤防の安全性については、堤防の形、高さ、大きさ、河川水位、降雨外力ばかりでなく、基礎地盤の土質特性や堤体の土質条件を加えた検討がなされた。
- ・その後、新たに河川堤防強化対策検討委員会などを発足させ、河川堤防の浸透性、洗掘性、耐震性などが徹底的に調査・検討された。
- ・それらの検討成果は、全国の堤防の調査、設計、施工、管理などの技術に反映され、脈々と現在まで引き継がれている。
- ・河川堤防の検討経緯の表を参照されたい

20

河川水位、降雨外力ばかりでなく、基礎地盤の土質特性や堤体の土質条件を加えた検討がなされました。その後、新たに河川堤防強化対策検討委員会などを発足させ、河川堤防の浸透性、洗掘性、耐震性などが徹底的に調査・検討されました。それらの検討成果は全国の堤防の調査、設計、施工、管理などの技術に反映され、脈々と現在まで引き継がれています。それらの経緯は、先ほどお手元に配布されました検討経緯の年表に示してございます。横の人に邪魔になるような長さですので、マーカーで線を入れ、それをまとめたのが、

P. 21です。検討経緯という意味で言えば、河川堤防震災対策調査研究会を前身としています。このあたりはここにおられる先生方もご参画されていたと思いますけれども、この研究会を前身として、河川堤防強化対策検討委員会が立ち上がり、浸透に対する堤防の安全性について、外力、履歴、形状、基礎地盤及び堤体の土質など、あらゆる角度から検討されました。

昭和60年から、江戸川の実物大堤防実験が6年にわたり行われ、降雨や河川水の堤防への浸透状況や、その危険性に対する確認、検証が行われ、ドレーン工効果も確認されました。その後、堤防研究会が発足し、堤防設計論についての議論や、浸透、耐震、侵食、構造物、堤防強化の各項目について検討がなされています。

平成7年、1995年になりますと、全国の河川堤防の概略点検がスタートしました。その結果から、危険箇所に対して詳細点検が行われるようになりました。詳細点検を踏まえ、必要に応じて堤防の質的整備が推進され、現在に至っているのが現状です。

また、表の一番下のところに赤色でマーカーをつけておりますが、P. 22に河川堤防に係る主な災害というものを列挙しました。小貝川の昭和56年と61年に起こった構造物周りの堤防の決壊、これは河川管理者にとっては極めてショッキングな破堤でございました。また、地震被害も頻繁に起こりま

6. 長良川水害後～現在まで

(河川堤防の検討経緯表による)

- ・河川堤防震災対策調査研究会を前身として、**河川堤防強化対策検討委員会**が立ち上がり、浸透に関する**堤防の安全性**について、外力、履歴、形状、基礎地盤、及び堤体の土質等**あらゆる角度**から検討された。
- ・1985年(S60)から江戸川の実物大堤防実験が6年に亘って行われ、降雨や河川水の堤防への浸透状況や、その危険性に対する確認・検証が行われ、ドレーン工効果も確認された。
- ・その後、堤防研究会が発足し、堤防設計論についての議論や、**浸透、耐震、侵食、構造物、堤防強化**の各項目について検討がなされた。
- ・1995年(H7)から全国の河川堤防の**概略点検**が行われ、その結果から、危険箇所に対して、**詳細点検**が行われた。
- ・詳細点検結果を踏まえ、必要に応じて、堤防の**質的整備**が推進され、現在に至っている。

21

河川堤防に係る主な災害等

- 1976年(S51) **長良川堤防破堤**(台風17号豪雨、長雨災害)
- 1981年(S56) **小貝川堤防決壊**(台風15号豪雨、**樋管構造物**周り)
- 1983年(S58) 八郎潟干拓堤防崩壊(日本海中部地震災害)
- 1986年(S61) **小貝川堤防決壊**(台風10号豪雨、**樋管構造物**周り)
- 1993年(H05) 十勝川・釧路川等の堤防被災(**釧路地震**災害)
- 後志利別川等の堤防被災(**北海道南西沖地震**災害)
- 1995年(H07) 淀川下流等の堤防被災(**兵庫県南部地震**災害)
- 2000年(H12) **新川堤防破堤**(愛知県豪雨災害)
- 2004年(H16) **円山川堤防破堤**(台風23号豪雨災害)
- 2011年(H23) 北上川、鳴瀬川、利根川等の堤防被災(**東北地方太平洋沖地震・津波**災害)
- 2012年(H24) **矢部川堤防破堤**(九州北部豪雨災害)

22

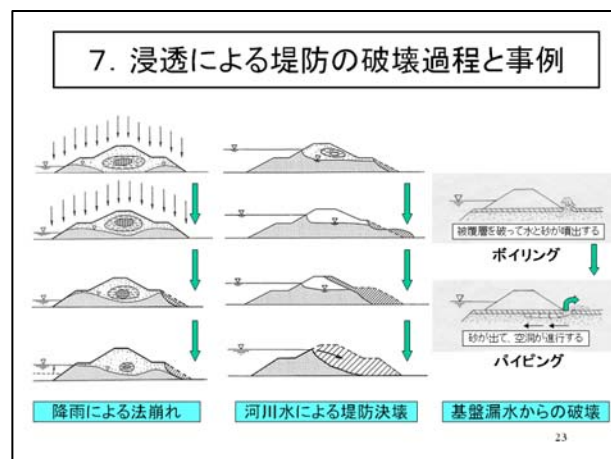
した。釧路地震、北海道南西沖地震、兵庫県南部地震、そして、3年前の東北地方太平洋沖地震など、マグニチュード7から9の地震外力によって、土構造物の堤防は破壊されました。特に東日本大震災の津波被害ですけれども、堤防の表と裏から同時に破壊されたということで、設計上、今まで考えていなかったと思いますが、そういうような驚くべき被害が起こりました。また、台風や集中豪雨によって、新川、円山川、矢部川などの堤防も破堤がありました。



これらのいろいろな堤防被害がありますけれども、その度ごとに各種、いろいろな委員会ができ、そして、検討が加えられ、その成果として、堤防の設計や管理に関しての手引書やマニュアルというものがつくられて、現在の実務に大きく反映されているということになっております。

今までずっと河川堤防や河川事業に対する歴史的流れを大まかに話してまいりました。長良川の「越水なき破堤」の後、河川の最大テーマである浸透に対する堤防の安全性という問題について、いろいろ検討されておりますが、ここでもちょっとそのあたりに触れてみたいと思います。

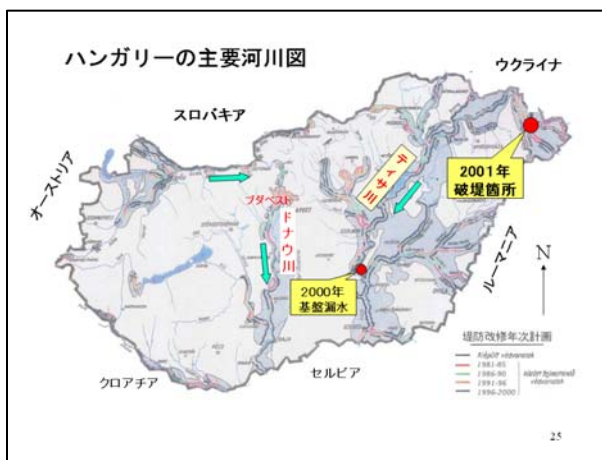
この図はよく見られる図で、浸透による堤防の被害、すなわち降雨による崩れとか、河川水位による堤防決壊などを模式的に示しております。また、基礎地盤漏水などから、堤防が危険な状態になるということをポンチ絵で描いております。



次に、そういう被害例というものを写真等で見ていきたいと思います。P. 24～P. 29は2001年、ハンガリーのティサ川上流で起こった堤防決壊の事例であります。P. 24は、今まさに浸透水（若干越水による上からの水もあるかと思いますが）により堤防が泥濘化して、のり崩れを起こしております。まさに決壊直前の図でございます。これはハンガリーのどこであったかといいますと、P. 25のハンガリーの主要河川図に示す、ティサ川の上流の赤丸印のところです。ウクライナ国境近くのティバダールという村の近くのティサ川の右岸堤防です。ティサ川はウクライナに源を発し、ハンガリーに入ると北東から南西に流れを変え流下します。

さらにハンガリー中央部で南方向に流路をとり、セルビアに入ります。西側で並行して南下するドナウ川はセルビアで、東方向に流路を変え、南下してきたティサ川と合流しています。すなわち、ティサ川はドナウ川の左支川の河川になっています。2000年にもこのティサ川の下流で基盤漏水を起こしています。このことも後で触れたいと思います。

さて、先ほどの続きですけれども、P. 26を見ますと、先ほどの泥濘化したのり崩れは奥側の箇所です。この手前にも、また大きな崩れが起こっている状況にあり、ここが、次のp. 27に見るように、のり崩れした天端が崩壊した瞬間です。この写真は、宇野先生が以前お使いいただいた写真と思います。この時の写真撮影者は身の危険を感じたのではないかと



思います。

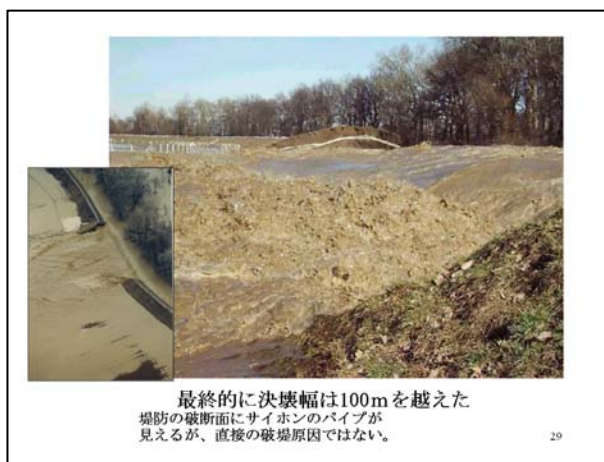
次のP. 28の写真は、天端から満杯の河川水が、一気に流れ落ちた状況が非常にわかる写真です。そして、それが1時間～2時間後にはこのように大きな100m程の決壊幅になったと言われております。左の写真は空中から見た写真でございます。

この堤防の後の復旧はどうなったかということですが、本日、まだお見えになっておられませんが、河川環境管

理財団の山本先生がこの場所を2004年に調査されています。その写真を使わせていただきました。P. 30が、破堤後の復旧したティサ川の堤防です。天端にこういう擁壁型のものを設けて、越水高を高くしています。また、越波洗掘の対応も兼ねて天端を歩きやすく、管理しやすいロッキングブロックで天端を舗装しています。しかし、この下の堤体や基盤までどういう具合にしているかというのはちょっとわからないので、山本先生にお会いしたら聞こうかと思っています。

次に、先ほど図で示したところのティサ川下流の基盤漏水です。初めはこんな小さな基盤漏水だったのです。ここは、基盤が砂層や砂礫層になっている

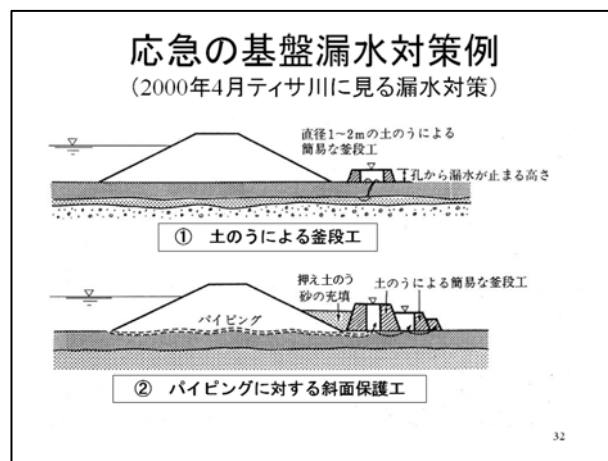
非常に透水性のいいところですが、表層に粘性土のある薄い被覆層があったということでもあります。この時はまだ簡単な釜場、あるいは釜段をしています。P. 32はポンチ絵ですが、ハンガリーではこういうふうな形でティサ川に漏水対策を施したという



ことです。先ほどの小さな漏水ですが、実はこんなふうになっています。漏水量が非常に多量化してくると、どんどん釜段の高さもそれに応じて高く、大きくし、二重、三重の釜段をつくっていくということと同時に、先ほども話がありましたけれども、こういう押さえ盛り土、押さえ土のうをのり尻に設けて、いわゆる沈下したときにばたつと行かないように、カバーリングをしています。P. 34が最終の水防の姿です。こういう形で、一応基盤漏水はおさまったと聞いております。

以前、国土技術研究センターにもお来しいだいたハンガリーの河川堤防の専門家であるDr. Nagyさんにこの堤防はどうしたかと尋ねましたところ、ここは裏のり面の断面拡幅を行った。それともう一つは、天端の中央あたり、あるいは表のり付近に止水壁も打設して基盤漏水を防いだということでした。ただし、彼らも気にしているのは、止水壁は地盤の透水層全部を止水しないと効果がない。ただし、平常時に堤内地側から河川側に向かう地下水流動を阻害する可能性が十分あるので、彼らは一部開きの止水対策をしていると言っております。また、安い工法ですけれども、リリーフウェルをこの裏のり尻に設けて水压を減圧しているというふうなこともやっているようです。

さらに、漏水対策というよりも、むしろ越水対策ですが、先ほど見られたティバダールの復旧堤防のような、ああいふ擁壁型の堤防が、用地の少ない街中の堤防にあります。その堤防の高さが不足した場合は、上に壁体の堤防を追加しています。壁体堤防が高くなり



不安定になった場合は、堤防の裾を土で押さえる方法で対応しているようです。

ハンガリーの状況はそんなところですが、一方、我が国でも、2001年、利根川の139k右岸で漏水が発生しました。裏のりの小段で堤体漏水があり、堤内地のところで基礎地盤漏水がありました。これはこ

この堤防委員会でも話題が提供され、そして、検討されたということを伺っております。そのため、ここでは詳しいことは省略いたしますが、一応結論としては、次のようであったと言われています。すなわち、堤体漏水は、昭和24年度の改修の築堤部分が非常に緩い砂からなっていた



ため、その透水性が大きく、それを通じて表の川からの浸透水が裏側に出てきたのではない。また、やや透水性の低い材料でできていた古い堤防が川裏にあるものですから、浸透水がせき上げられて、中腹に堤体漏水が生じた。もし、古い堤防自身を包むようにかさ上げ、腹付けしていたら、後ろののり尻に出ていたのではないかと思います。そういう状況にあったということが判断されました。また、基盤漏水は、地盤構造が行き止まり型構造をしていたということでありまして、そういう意味で、堤内地で噴いたという結論にされております。あまり大事に至らなかったこの漏水被害ですけれども、首都圏を守るという利根川の右岸堤防ですから、非常に慎重な検討がなされたと思います。最終的には、断面拡大工法とドレーン工による対応をされています。表側のり面は、川表5割、川裏7割の緩傾斜として、川表側においては浸透防止を、川裏においては、漏水防止とのり面の安定化を図るため、断面拡大工法をして、そして、必要に応じて、ドレーン工を裏法尻に設置され、現在に至っております。

堤防が浸透破壊に至る危険要因を、P. 38にまとめてみました。すなわち堤防が立地する基礎地盤は、その地形・地質から多様な土質分布をしています。透水性の基盤や裏側の基盤が行き止まり型の土

堤防が浸透破壊に至る危険要因

1. 堤防が立地する**基礎地盤**は、その地形・地質から、多様な土質分布をしている。透水性の基盤や裏側の基盤が行き止まり型の土質分布をしている場合、漏水が発生しやすい。
2. 堤防の**中身**は、その築堤履歴により、様々な土質が分布をしている。また、締固めの緩い場合や時には異物が混入している場合があり、漏水、沈下、陥没の原因となることがある。
さらに、長年の自然外力(地震、豪雨、高水、乾燥、凍結、軟弱地盤上の堤体沈下、動植物の影響など)によって、堤体の中や表層にクラックやゆるみや、時には空洞などが内在していることがあり、堤体土の浸透性や強度に影響し、危険要因となっていることがある。
3. 堤防の**幅**が狭くて、**堤内地盤高**が相対的に低い場合、洪水時に平均動水勾配が大きくなり、相対的に漏水が発生しやすい。

38

質分布をしている場合、漏水が発生しやすい。これは最近では極めて教科書的な話として認識されています。次に、この堤防の中身です。これがくせ者です。その堤防の築堤履歴により、さまざまな土質材料がその工事過程で使われます。そのために、堤防の中は非常に複雑です。また、同じ材料であっても、締め固め工法等の違いによって、緩い場合や、締まっている場合があるというふうなことがあります。また、時には、異物、すなわち、工事で使った残材料や廃棄物などが堤体の中に混入しているという場合があって、そういうものが悪さをして漏水、沈下、陥没などの原因になることがしばしばあります。これは外から見ていてもわからないのですが、何かが起こって初めて気がつくというものです。

さらに、長年の自然外力、すなわち地震、豪雨、高水、乾燥、凍結、軟弱地盤上の堤体沈下、堤体の内部が沈下して緩くなるのですが、それとか、動植物の影響などの長年の自然外力によって、堤体の中や表層にクラックや緩みや、時には空洞などが内在していることがあり、堤体土の浸透性や強度に影響し、危険要因となっていることがあります。また、これはよく言われることですが、堤防の幅が狭く、堤内地盤高が相対的に低い場合、洪水時に平均動水勾配が大きくなって、相対的に漏水が発生しやすい。また、こういうところは、裏のり勾配がややきつい場合がありますので、すべりや崩壊にも弱い場合があるかと思います。こういう三項目が基本的な要因としてあるということです。

さて、堤防の問題の中で言うと、私が20年以上前に江戸川の実物大堤防実験を担当させていただきました。ここで、それぞれ現場の中で遭遇したことの二、三の例といいますか、私としては興味深い例をご紹介します。



8. 堤防の浸透破壊を検討する場合の留意点 一実物大堤防実験等を経験して一

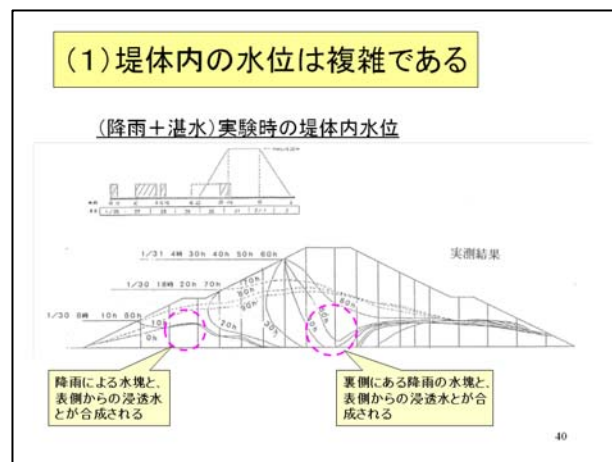


39

堤体内の水位は複雑です。いわゆる水の動きは大変複雑であると感じました。これは降雨・湛水実験のときの堤体内水位の様子を現している浸潤線です。前期降雨によって、このように表側、それから裏のり側にたまり水が生じます。そして、そこに湛水した水が押し寄せてくるという状況です。こういうところを観測しているわけですが

れども、例えば、表側のところについてみますと、このたまり水というものはどういうふうなことになるかと、私は非常に興味がありました。実はここに不透水ゾーンができて、その上をスーと入っていくようなイメージを持つような水位変化をしました。当然ながら、合成されるわけですから、水位としては当たり前の話ですけども、見た目から言うとそんな感じがするような浸潤線が得られていました。

また、こちらの後ろ側ですけども、後ろ側も雨のたまり水があります。このたまり水は実はまた流動状態にあり、少し進行して浸潤線が内側の方に進みます。一方で、表側の湛水による浸透水が表側から押し寄せていきますが、後ろ側の雨水もゆっくりと内側に進んできますので、中央付近で合体します。すると、その付近の水位は急にヒューと上がりますね。こういう状況が観察しているとわかります。図を見たら誰でも当たり前と思いますが、現実これを計測していると、下がったり、上がったりする場合があります。なぜそうなるか。例えば、堤防中央部の水位を見ると、少しずつ上がっています。これはひょっとしたら、表側の水が到達しているのではないかと思います。実はまだそうではなく、後ろ側の雨の水による上昇であったわけです。それは後ろ側から描いていったらわかるものでして、現場で時々刻々測定する水位から、時々刻々の浸潤線を追跡することは、なかなか難しい作業でした。このあたりの複雑な水の動きというものが、若干でもおわかりいただけたら幸いです。



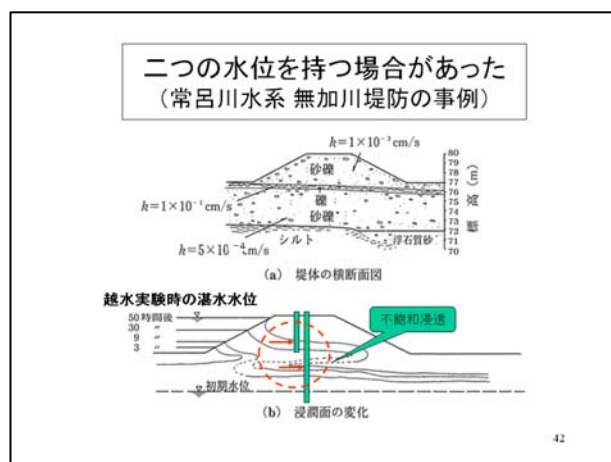
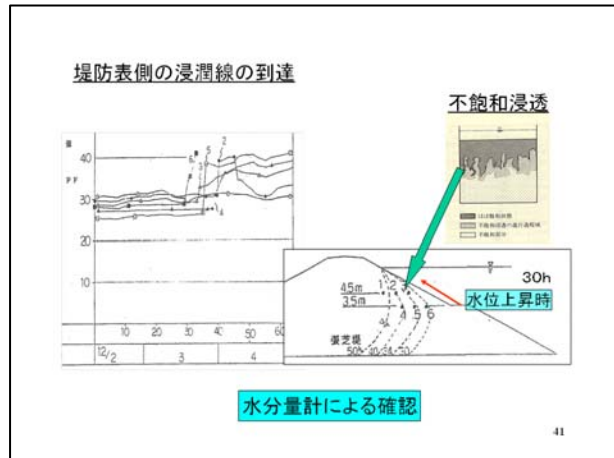
次に、堤防の表側の浸潤線の話です。
P. 41の右の図に示しますように、表側の湛水域の表面から、水が堤体の中に浸透しますけれども、その時の浸潤線は、“つ”の字の形になります。こういう状況に果たして浸潤面はあるのだろうかということを私は非常に疑問を持っておりました。これを描いた人はあ

まりいないですが、これは浸透流解析をすれば出てきます。問題は、この表側の“つ”の形の下側は水位観測で把握することができますが、上側は捉えられません。それを現場で確認したらどうかということで提案させてもらって、水分量計を入れました。水分量計をこのように1～6の位置に配置しました。水分量計は、水分をキャッチすると静電容量が大きく変化することで浸潤線の前線が捉えられるものです。左の図は、それぞれの位置で、湛水時の浸潤線による水分変化を静電容量で観測したものです。

湛水水位を上げていって30時間が経った時ぐらいから、6、3、5、2の水分量計が順次、感応しました。この時、この浸潤線の“つ”形状というものを実感しました。ただ、ご存じのように、不飽和の垂直浸透というのは、右上図に示しますように、このような形で、不飽和浸透の前線がフィンガリング状態で浸透します。左図の静電容量の立ち上がりは、おそらく飽和領域の大体平均的なところが関知されたのかなと私は思っております。

私は、この江戸川実験の5年前に、「二つの水位を持つ場合があった」というタイトルにしましたが、北海道の常呂川水系の無加川堤防で越水実験をしました。ここは堤体も基礎地盤も砂礫でしたので、湛水した水は堤体にも基礎地盤にも、どんどん浸透していくものと思っていました。このときに、堤防の真ん中にあった同じ地点で二つの水位が観測さ

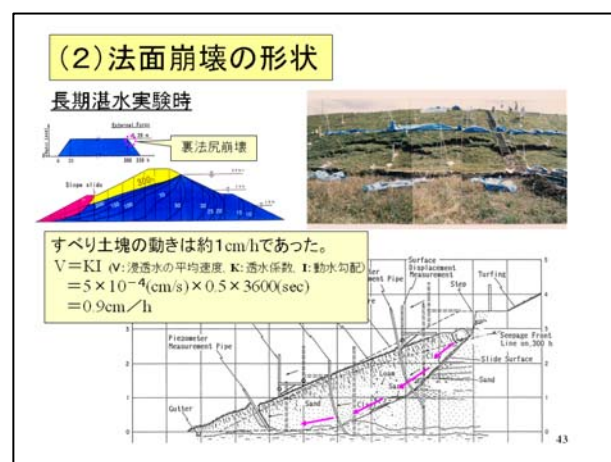
れました。これは何か観測間違いだなと私は思いました。ところが、どう考えても二つあ



ることがわかって、その時には、どう浸潤線を描いたらいいのか、非常に悩みました。これは2週間ぐらい悩みました。ひょっとして砂礫層の透水性の違いによって、こういう形になるのではないかと、先に進行する水があったりして、それがなす水位と、まだ浸透しないところの層の水位というものがあって、二重構造になっているのではないかと、いうことに考えが至り、最終的に、図のような浸潤線を描くことができました。

そうすると、この堤防直下のところは垂直の不飽和浸透をしているということであり、この当時は、この現象を何となく理解したものでした。このように、簡単に片付けられない浸透現象が堤防や基礎地盤で起こっています。

次に、堤防の崩壊の問題です。すべりの形状や崩壊の動態をまともに捉えることは実際にはなかなか難しいことです。P. 43は長期湛水実験の最終工程の中で裏のり尻がすべり崩壊を起こした様子をとらえたものです。この崩壊の時に私は現場で逐一見ることができました。このすべりが、どういうふうにとどのような速度



を持って崩壊するのかを確かめました。クラックが発生した段階で、すぐに変位杭を設置し、急遽ダイヤルゲージをつけて、この離れていく様子というものを目で確かめました。このすべり土塊の移動速度は毎時1cmぐらいでした。この速度はどこから来るのかと思いました。浸透している水の速度と比較してみたらどうかということで、簡単に $V = KI$ という形で求めますと、毎時0.9cmになりました。この土塊は、堤体の水が動いている中で順次ずつとずるずると押されているのではないかと思います。先ほどのティサ川の堤防のり尻が崩壊し流動している、ああいうところの話によく似ているのかなと思います。実験時の崩壊では、動きがゆっくりであったため、そばに近づいてもそんなに怖くありませんでした。

この形状は、一応円弧滑り的な形をしています、円弧のせん断面は不鮮明で、現場でもなかなか見つけにくいものでした。ここに円弧すべりの土塊が実際に図に描かれていますけれども、開削の断面写真などを見てもわからないものでした。

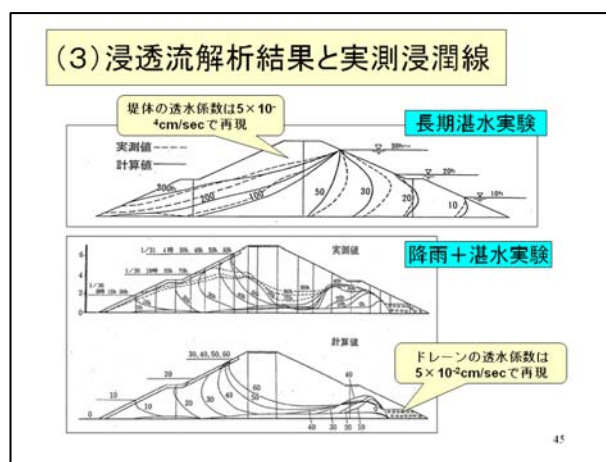
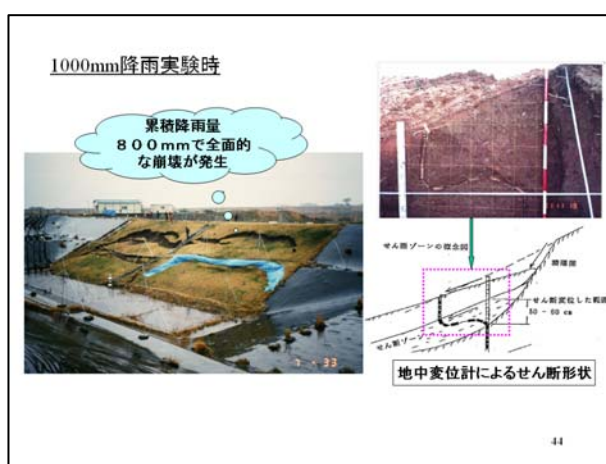
次に、P. 44は、1,000mmの降雨実験をしたときのものです。これは長良川破堤の時の1,000mmの降雨量を意識して、1,000mmの降雨外力を与えた時に堤防がどれだけ耐えられるかを確かめたものです。そうすると、800mmぐらいで全面的に写真のような崩壊が生じました。崩壊に至る前までは、堤防全体がぶよぶよとした状態で、

上に乗れば、水枕のような状況でした。そういう状況の中で、それでも雨を降らすと、全面的な法面崩壊となりました。

そして、事後すべり面付近を開削しますと、右上の写真のようなすべり形状が見られました。これはたまたま先ほどの長期湛水実験の時に、滑り面がどうも不鮮明でわかりづらいということがありましたので、この実験の前に手作りの地中変位計というものをに入れておいたため、このすべり面の状況がよくわかりました。これをスケッチしたのが、右下の図ですけれども、50cm程度のせん断ゾーンがあって、ずるずると表面の板状の土塊を押し流しているという状況です。これを見ると、単純なある面のせん断強度のC、 ϕ を用いてすべり安定計算していいのかなと私は思えてなりません。

次に、この堤防実験の結果を浸透解析して実測値と比較したのが、P. 45です。堤体の透水係数を $5 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ とし、そして、この湛水実験のドレーンの透水係数を $5 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ という形で計算すると、まあまあ適合しているかなというような結果を得ました。これもすぐできたわけではありません。

いろいろな試行錯誤がありました。というのは、基礎地盤条件、降雨条件、不飽和特性条件の問題などがあるからです。そういう問題はいろいろな検討、熟慮して、そして、やってみないと、なかなか単純に合わないというようなこともありました。ですから、こういうことに対する十分な吟味が、浸透流解析には必要じゃないか。また、先ほども言いまし



たように、実際に測ったデータが正しいのか、どうか。現場のミスだってあるわけですね。だから、現場データの方も、慎重な吟味が必要です。

そういう意味で、現在、浸透に対する安定性に対しては、飽和・不飽和の浸透流解析をして、その浸潤面を出して、その浸潤面に対して安定解析をかけるというようなことをごく普通にやっているわけですが、こういう解析手法は、あくまでも1つの解析手法であるわけです。P. 46に解析検討時の留意点をまとめました。先ほど申しましたように、いろいろな設定条件というものは適正に定めなければならないと思います。

また、現場の信頼できる調査結果というものは大切だと思いますが、その事実確認はしっかりしなければならないと思います。ただ、破堤をした箇所がどうだ、こうだという説明がありますが、よく見たら、違う状況がいっぱ

いあります。だから、そういうことは確実に信頼できるものにしていかないといいないと思います。また、その設定条件によっても、解析結果の解の敏感性があるわけですから、そういうものをよく認識した上で設定条件を決めることが大事ではないかと思います。また、解析技術者というものは、とにかくコンピューターにおぼれがちですが、解析結果の不自然性やミスに素早く気付く技量が必要であると感じた次第であります。

最後になりましたが、副題の「堤防への思い」ということで、三つの話をさせていただいて、私の話を終わりたいと思います。

一つ目は、堤防の浸透に対する安全性の問題は、堤防の歴史、立地条件、堤体条件、外力条件などの諸条件を時空間で捉えることが肝心であると思います。

二つ目は、安全性を検討する関係技術者は、解析結果を過信しないこと。現場の状況を体感し、真摯に発生している現象に立ち向かうことが最善であると思います。すなわち答

(4) 解析・検討時の留意点

- ・今使われている解析手法は、あくまで**一つ**の解析手法である。
- ⇒ **設定条件**を適正に定める
- ⇒ **信頼できる調査結果**と事実確認が必要
- ⇒ 解析結果の**解の敏感性**を知る
- ⇒ 解析技術者は解析結果の不自然さやミスに**素早く気付く技量**が必要である

46

9. 最後に

- 一つ: 堤防の浸透に対する安全性の問題は、堤防の歴史／立地条件／堤体条件／外力(河川水、降水等)などの諸条件を**時空間で捉える**ことが肝心である。
- 二つ: 安全性を検討する関係技術者は、**解析結果を過信しない**。現場の状況を体感し、真摯に発生している現象に**立ち向かう**ことが大切である。**答えは現場にある**。
- 三つ: 堤防の安全性の確保は、日常の**維持管理**にある。過去の調査・点検資料(堤防カルテ)などを十分に把握し、**医者の気持ち**になって、堤防を**巡視する**ことが極めて大切である。

47

えは現場にあると認識しております。

そして、三つ目は、堤防の安全性の確保というものは、日常の維持管理にあると思います。過去の調査・点検資料、堤防カルテなどを十分に把握し、医者気持ちになって堤防を巡視することが極めて大切であると、私は思います。

どうもご清聴、ありがとうございました。これで終わります。

— 了 —