

第1回水工学オンライン連続講演会

中央大学研究開発機構 福岡捷二

変化の激しい時代に向けて、水工学研究は どうあってほしいか

1. 本講演の狙い
2. 「流域治水」政策に対応する研究
3. 洪水多発時代における治水と環境－両者をつなぐ土砂移動研究
4. 堤防・河道の一体的設計 - 浸透破堤, 侵食破堤, 越流破堤の危険性の小さい川づくり
5. 基礎研究の充実の必要性
6. 水工学研究の今後のために一若手研究者・技術者への期待

■ 本講演の狙い

研究者は、それぞれが持つ研究動機や関心から課題を選び、研究を進めている。これは、研究を進めるうえで最も重要なことである。

しかし、社会・経済の変化スピードが速く、また災害多発時代を迎えて、水工学研究集団全体として、大きい視点で課題を捉え、多面的、総合的に研究を進めることも、今後の水工学発展のために必要なことであると考えます。

気候変動の影響評価と関係して、河川を取り巻く政策は大きく転換しようとしている。水工学の研究結果についても、これまでの延長上では解釈できない、明らかにおかしいと思えることが多く生じており、水工学研究も大きな曲がり角に来ており、問題点を明確化し、今後に対応する心構えと行動が必要であると考えます。

これらに該当する課題は、水工学の広い分野で起こっていると思うが、講演者は狭い範囲でしか研究を行なって来ていないことから、全体は語れる力はない。

講演者のこれまでの研究体験を通じて、幾つかの課題を挙げ、課題解決の具体化に向けて、どのように研究展開していくことが望まれるかについて、思っていることを率直に示し、参加者と議論をしたい。

2. 「流域治水」政策に対応する研究の必要性

近年の豪雨災害を受けて、国土交通省が設置した有識者会議は、「気候変動の影響を考慮した水災害対策」を提言した。そこでは、管理者主体の従来の治水対策から、流域全体の関係者が協働して被害を軽減するため以下に示す「流域治水への転換」を目指している

- ・ 氾濫をできるだけ防ぐ。
- ・ 被害対象を減少させる。
- ・ 被害の軽減，早期復旧，復興

(1) 気候変動の影響解析に基づく降雨一流出研究と地上での降雨一流出研究の協働による治水計画に関する研究

地上で実際に観測された流域の多くの洪水水面形データを用いた同化解析による降雨一流出解析を行い、気候変動の影響を考慮した降雨一流出現象の解析成果と比較し、解析の妥当性を確認しながら、確かな治水計画論に発展させることが大切である。

流域を構成する本川及び支川群では、これまで多様な降雨一流出関係が生じ、それらが、本・支川の各地点の水位ハイドログラフの観測値に反映している。近年、危機管理型水位計は、支川も含め広範囲に設置されるようになった。

各小流域での雨の降り方はいろいろであり，中には，降雨の地上観測で気候変動の影響を受けているかのような異常な雨の降り方をしたものもあり，これらを含め，各小流域からの降雨の下流河道の洪水の流下に与える影響の検討は，現在および将来における水文学，河川工学の重要な課題であり，両者の密接な連携による調査研究が必要である．

今後の流域治水においては，気候変動の影響による降雨量の増加を勘案し，計画外力や設計基準等の設定が提言されている．これには，気候変動の影響を考慮した解析モデルの信頼性の向上とともに，算定される降雨一流出データの意味と検証が望まれる．

しかし，当然のことながら，将来計画を論ずるための実データは存在していない．これまで蓄積されてきた降雨データと今後収集する降雨データを使って，同化解析等によっていろいろな規模の降雨一流出を検討し，これら結果と気候変動解析から求まる計画降雨との関係を議論することが，水工学の大きな課題であると考えられる．

図 - 1 利根川上流区間の支川と水位観測体制（危機管理型水位計含む）

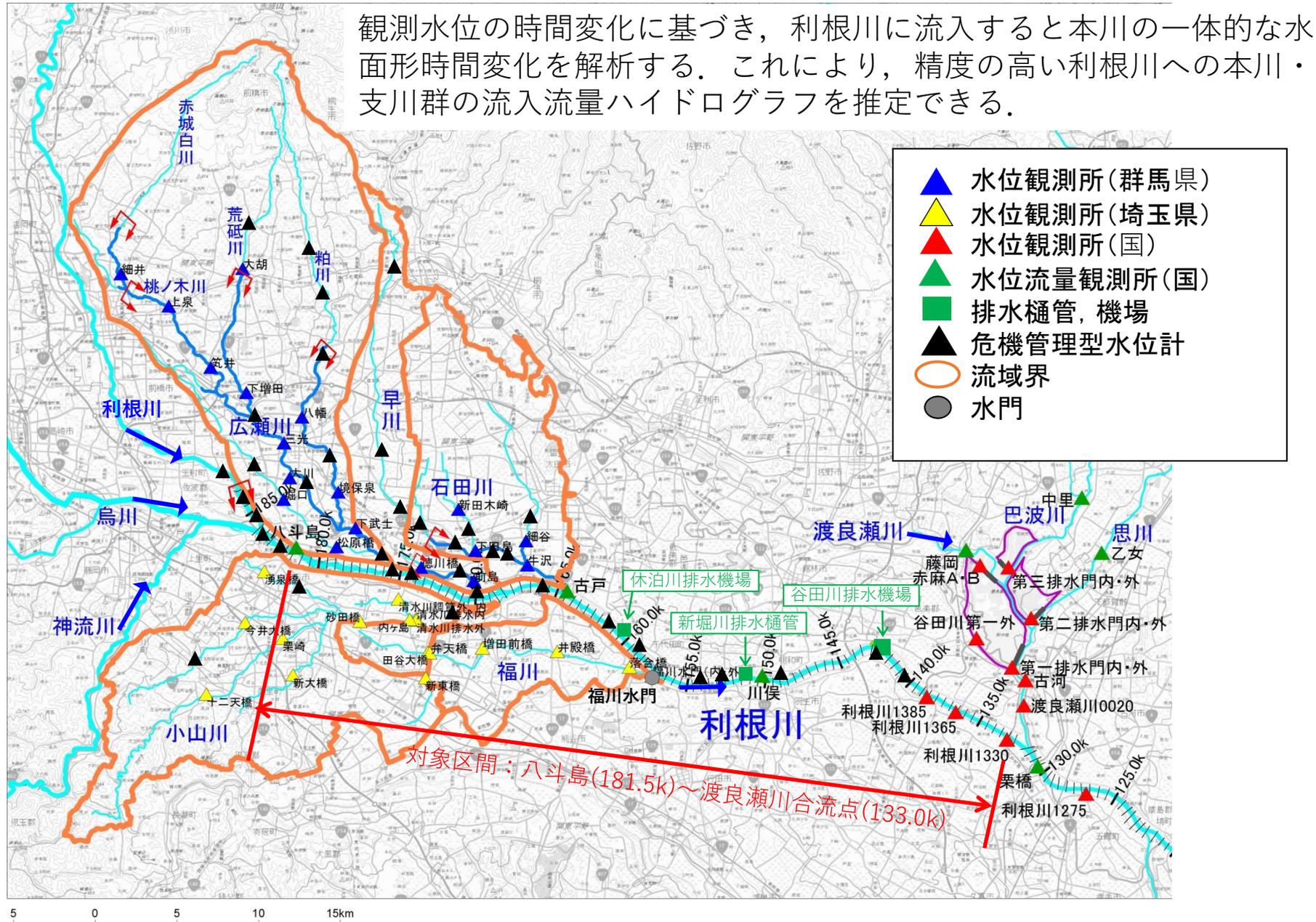
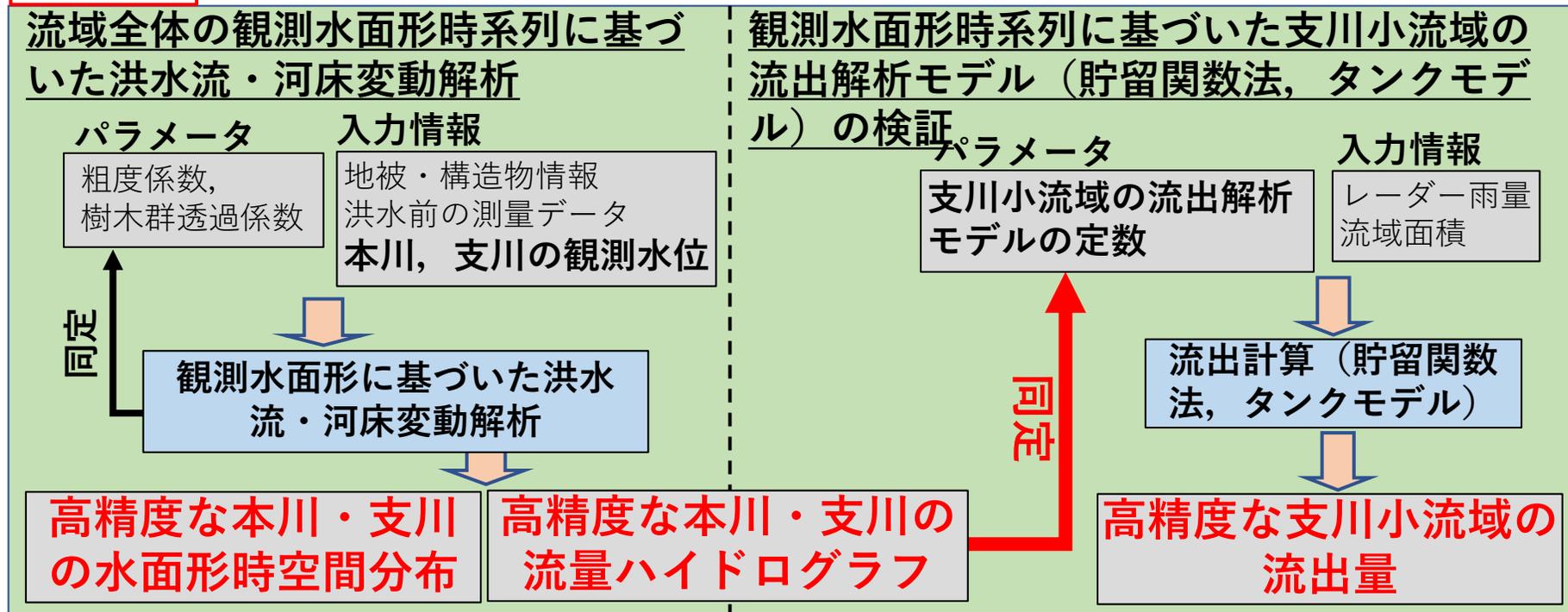
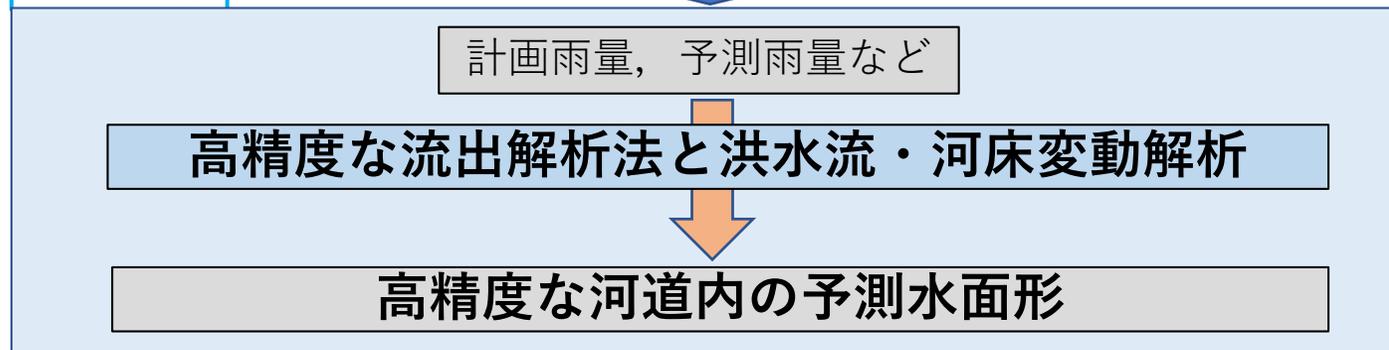


図-3 流域全体の観測水面形時系列に基づいた洪水流（河床変動）解析による洪水予測計算の高精度化に向けて

検証段階



予測段階



(例えば、利根川流域では、群馬県、埼玉県によって、支川群の広い範囲で、水位ハイドログラフが得られており、これら本・支川の縦断的な水位観測値(水面形)を用いた同化解析により、各支川の小流域での降雨－流出関係を解析できる段階に来ている。これを用いて各小流域の流出モデル(例えばタンクモデル)の定数を同定し、流出量修正を繰り返し行うことにより、地上の小流域から気候変動の影響を考慮した解析スケール(20km平方)までの流量、降雨についての議論を可能にする。

2) 安全なまちづくり

図 - 4 は、流域治水を進めるために、「氾濫を抑える対策」、「氾濫に備える対策」、「まちづくりと住まい方の工夫」を推進する河川、都市、建築に関連する法律と、今後、関係機関が連携して一体的な取り組み行うことが必要な項目を示している。

発生頻度が増し、被害規模が大きくなっている自然災害を踏まえ、防災・減災対策に関係する技術と法律に関心を持ち、研究を行うとともに、これは、優れて行政課題であるが、水災害から国民の命とくらしを守るために、学の側からも市民、行政を支援することが必要。

図-4 大規模氾濫時の被害軽減に向けて

氾濫に備える対策

水防法

- 水防活動 ●大規模氾濫減災協議会（水災による被害の軽減に資する取組を協議。協議結果は尊重） ●国土交通大臣による特定緊急水防活動
- 浸水想定区域の指定（区域、水深、浸水継続時間） ●浸水被害軽減地区の指定（輪中堤防その他帯状の盛土構造物の保全）

関係機関が連携した一體的な取組みが必要な項目

- わかりやすい水害リスク情報の提示（河川管理者等）
 - ・家屋倒壊等氾濫想定区域の公表
 - ・危険性のランク評価 等
- 避難場所（命山）等の確保（市町村等）
 - ・高台等の整備
 - ・避難ビル等の確保 等
- 保水・遊水機能の確保・向上（市町村等）
 - ・雨水貯留浸透施設（防災調整池、浸透ます、透水性舗装等）の整備
 - ・ため池や田んぼ等の活用 等
- 氾濫流の制御（市町村等）
 - ・二線堤や輪中堤防等の築造 等
- 氾濫水の排除（河川管理者、下水道管理者、市町村等）
 - ・排水機場、水門、樋門・樋管
 - ・下水道施設
 - ・排水ポンプ車
 - ・中小河川、水路等の活用 等
- 水害リスクを考慮した土地利用、住まい方（市町村等）
 - ・水害リスクの低い地域への居住や都市機能の誘導
 - ・水害リスクの極めて高い地域における規制
 - ・宅地等の嵩上げ、高床式の構造、耐水化 等

河川法

- 河道・ダム等の洪水対策 等

特定都市河川浸水被害対策法

- 河川管理者による雨水貯留浸透施設の整備
- 既存調整池の保全
- 雨水浸透阻害行為に対する雨水貯留浸透施設の設置の義務付け

都市計画法

- 線引き（区域区分）、用途地域、地区計画、開発許可

建築基準法

- 建築制限（災害危険区域）等

下水道法

- 雨水の排除（氾濫水は対象外） 等

砂防4法

- えん堤等の土砂災害対策（砂防法等）
- 土砂災害特別警戒区域等の指定（土砂災害防止法） 等

都市再生特別措置法

- 立地適正化計画（居住・都市機能誘導） 等

宅地建物取引業法

- 重要事項説明（洪水・内水・高潮義務づけなし） 等

氾濫を抑える対策

まちづくり・住まい方の工夫

3. 洪水多発時代における治水と環境－両者をつなぐ土砂移動研究の充実化

近年の大洪水発生頻度の増大は、河川流域の激しい土砂移動を引き起こしている。河床低下、深ぼれや堆積等河道の二極化の発生、樹木群の繁茂、干潟上の土砂堆積、生物の生息環境の劣化等、土砂の移動に伴う治水と河川環境が関わる管理問題が全国の河川で顕在化している。令和元年の東日本洪水の発生は、河川の川底状況を大きく変化させことた。

大洪水時に起こる大量の土砂の移動とそれに伴う河床の変化は、河床を住みかとする生物に大きな影響を与える。これまで土砂移動は、主に、治水問題として取り扱われてきたが、河床等の大きな変化は、環境上も深刻な問題を引き起こしていると考えられる。

今後の河川管理の重要政策として、土砂移動を原因とする治水と環境の一体的管理が重要となる。

図 - 5 治水と環境の調和（令和元年東日本台風）

- 令和元年東日本台風による洪水により、多摩川の河道においては、洪水攪乱により土砂動態に係る様々な事象が発生した。
- 多くの低水路や高水敷において、樹木が流出し、新たに砂礫が露出した。
- 洪水攪乱により全川にわたり、河川環境（生物、植物の生息環境）に変化をもたらした。

砂礫河原の形成

出水前



礫河原再生箇所にもばらな植生が分布

出水後



再び礫河原が更新

樹木の倒木・流出, 土丹層の侵食



樹木の倒木・流出
昭和用水堰下流（R1.11.11撮影）



土丹層の侵食
中央線橋下流（R1.11.11撮影）

干涸環境への影響（生息地への土砂堆積）

出水前

ヒヌイトンボ
生息地



出水後



ヒヌイトンボやキイロホソゴミムシ生息地への土砂堆積

砂礫河原・高水敷への土砂堆積



礫河原への土砂堆積
14.0k付近（R1.11.11撮影）



高水敷への土砂堆積
14.0k付近（R1.11.11撮影）



土砂動態を的確に把握するための調査・研究を行いつつ、治水と環境が調和した河道を継続して機能維持

図 - 6 治水と環境の調和（令和元年東日本台風）

■ 令和元年東日本台風に伴う洪水攪乱により、瀬・淵が消失し、河床が平坦化している箇所が見られる。アユの産卵環境への影響が懸念。

瀬・淵の消失，河床の平坦化事例①多摩川21.4k付近

洪水前



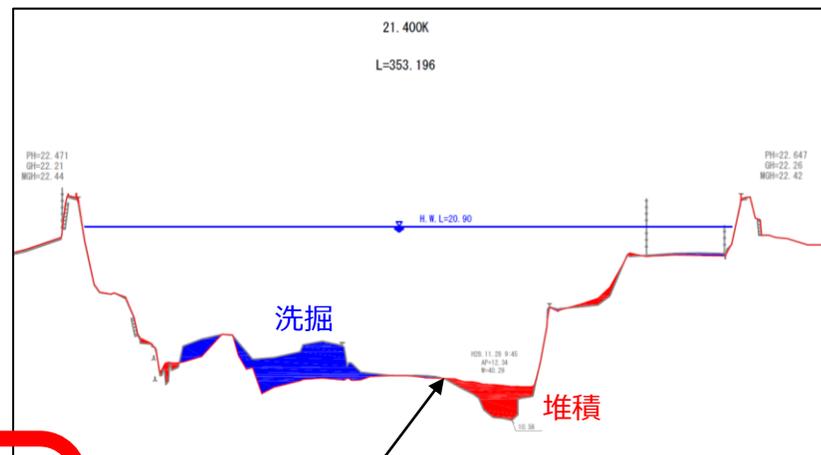
H31.1撮影

洪水後



R2.2撮影

洪水前後の横断面図比較



凡 例	
—	R01 定期縦横断面測量 (R02. 03. 22~26 測量)
—	H28 既往成果

瀬・淵がなくなり，河床が平坦化



アユの産卵環境への影響が懸念



H31.1撮影



R1.11.11撮影

洪水前は瀬・淵が見られた

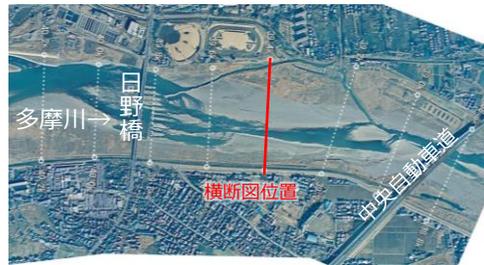
洪水後は河床が平坦となり，瀬・淵が消失

3. 治水と環境の調和 (河道の二極化・干潟環境の変化)

■ 多摩川においては、河道の二極化、干潟環境の変化など、河川環境上の課題が生じている。

河道の二極化

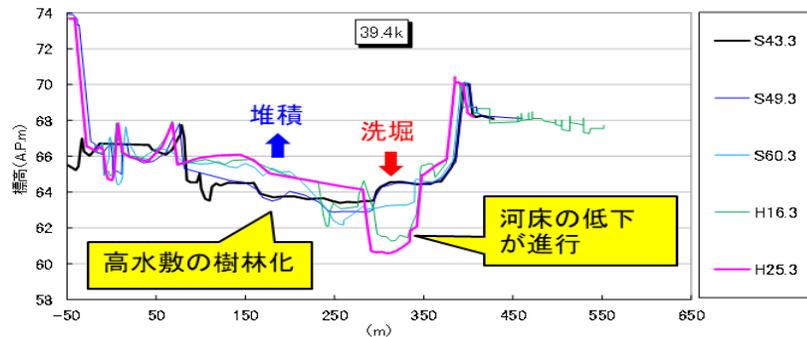
■ 高水敷の樹林化により滯筋の固定化、水衝部の河床洗掘が進行し、低水路と高水敷の比高差が大きくなる「河道の二極化」が生じている。



S49: 礫河原が形成



H30
高水敷の樹林化により滯筋の固定化、水衝部の河床洗掘が進行し、低水路と高水敷の比高差が大きくなる「河道の二極化」



干潟環境の変化

■ ヨシ原に土砂が堆積することで干潟の面積が減少。
 ■ 水際までヨシが成長することで、希少な塩性湿地植物が減少。
 ■ 干潟の陸化により、ヒヌマイトトンボ生息地が減少。

S49撮影時：干潟が形成



S59撮影時 (川崎市殿町) : 干潟が形成



H30撮影時：ヨシ原拡大により干潟範囲が減少



H29撮影時：ヨシ原拡大により干潟範囲が減少



ヒヌマイトトンボ
R1.7.5六郷地区

- 昭和51年に多摩川の4地区でヒヌマイトトンボを初確認
- 現在は六郷地区でごく狭い範囲に残存 (R1.7)



シオクク群落
R19.7.26本羽田地区

これまで蓄積されてきた土砂移動に関する学術・技術及び、現場での観測は、主として治水上の問題解決を目指して発展してきたが、土砂移動の学術・技術は、河川環境が関わる土砂問題の解決にも役立ってきているであろうか。

Yes とは言えない。河床付近の流れの構造とそれに伴う土砂移動の機構は決して単純でない、水生の生き物は、そのような場で生息、生育、繁殖している。

したがって、水中の生き物を含む環境問題に答えを提供するためには、河床付近の土砂移動について、場の状況を正しく評価し、これを説明する精度の高い流れと土砂移動について考え方、理論の組み立てが必要である。これは治水上も考えていなければならない問題である。

それを実現するためには、土砂問題を治水と環境管理の中心に据え、両者を一体として河川管理を行うことが求められる。治水と環境の一体的管理のためには、現在の土砂移動の学術、技術に、何が不足しているかを明確にする必要がある。

これは、水工学の今後の重要課題である。

5. 堤防・河道の一体的設計 — 浸透破堤，侵食破堤，越流破堤の危険性の小さい河川

現在の河道計画では，河道と堤防は，洪水流量を流下させる器の大きさとしてそれぞれ独立に論じ，両者を一体とした治水施設計画にはなっていないように思う．一体的設計がなされてこなかった理由は，河道と堤防は，災害を受けながら時間をかけて徐々に現在の形に作られて来たことによると考えられる．

これまで，堤防破壊は，堤防断面の土の強度及び形状の変形を主眼に地盤工学的検討が中心であったが，最も重要な堤防破壊の場所を特定できるほどの成果を上げて来ていない．河川堤防の研究は，大洪水時にどこで，どのような破壊形態を生ずるかについて，洪水時の水の動きから破堤に繋がる「キッカケ」を捉えること，また「キッカケ」を生じさせないことを狙いとして 水理学的視点から堤防と河道の設計法に関する研究が求められる．

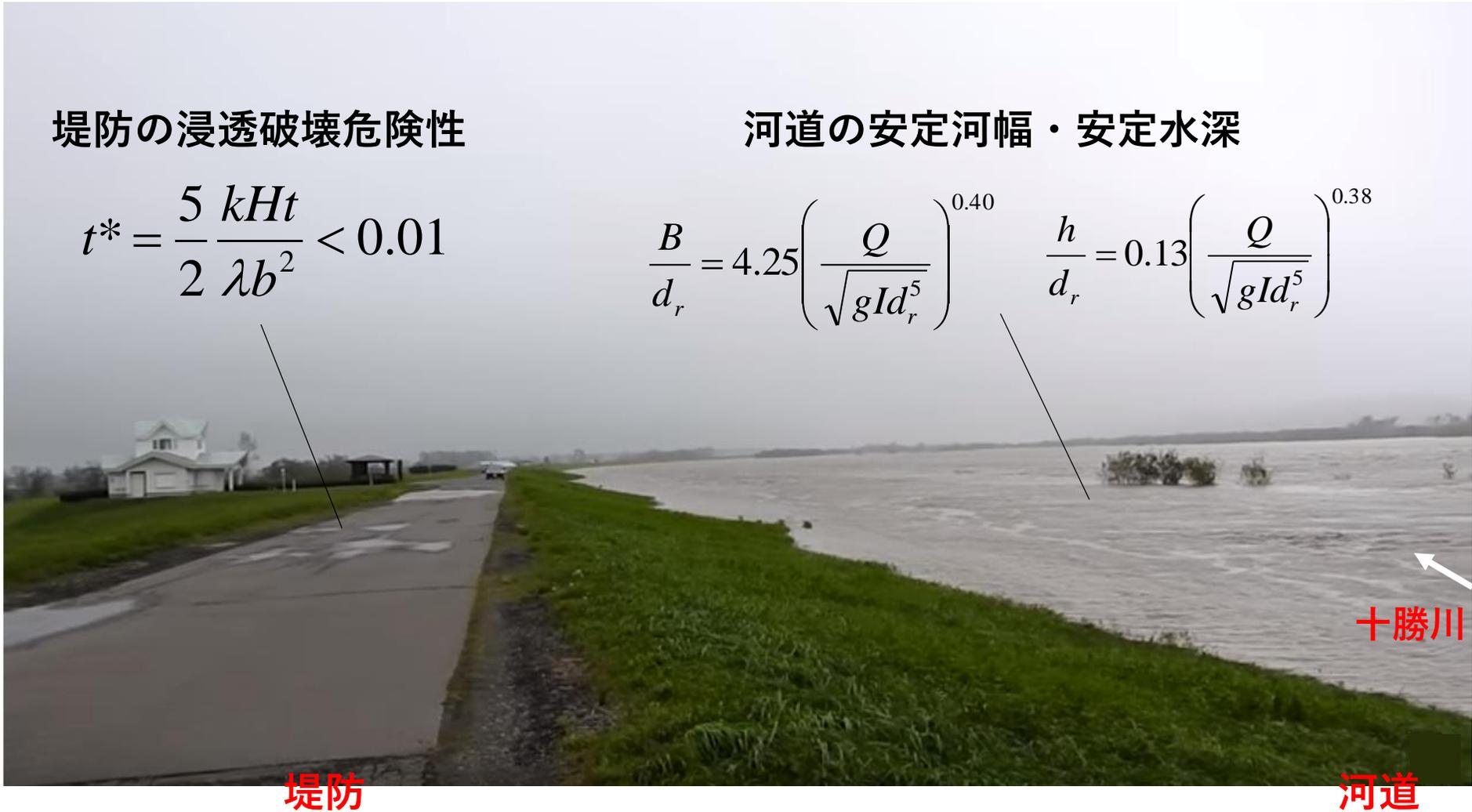
河道と堤防の一体設計のために，河道の縦・横断面形が合理的な形状で，どのような形状と材料を用いてどこまで大きくすれば越流破壊，浸透破壊，侵食破壊の「きっかけ」となる水理現象を生じさせないか，破壊の危険性が小さい堤防と河道形状についての検討が喫緊の研究課題である．図-7は，水工学の視点から得られた浸透破堤，侵食破堤，越流破堤の危険性の小さい堤防と河道の一体的設計法の一例である．

図 - 7 河道計画・設計の基本的考え方

堤防の浸透破壊危険性

$$t^* = \frac{5 kHt}{2 \lambda b^2} < 0.01$$

河道の安定河幅・安定水深

$$\frac{B}{d_r} = 4.25 \left(\frac{Q}{\sqrt{gI d_r^5}} \right)^{0.40} \quad \frac{h}{d_r} = 0.13 \left(\frac{Q}{\sqrt{gI d_r^5}} \right)^{0.38}$$


堤防

河道

十勝川

画像：平成28年8月台風10号による十勝川の増水（豊頃町茂岩橋，ハルニレの木周辺 十勝川左岸の映像） 2016.8.31，10：30～11：30頃（撮影者 片山昇一）

今日の河道は、氾濫原を自然状態で蛇行しながら流れていたいくつもの旧河道に対し、堤防を連続的に築造し、作られたものである。氾濫原には多数の旧河道が分布し粘性土と砂が堆積している。河川堤防と旧河道の交差するところの堤防基礎地盤は、洪水時に漏水や噴砂が生じる弱点箇所になりやすく、その上の堤防は変形を受け、破堤の危険性が高い。

図-8は、千曲川飯山地点における旧河道の分布とこれまで発生した漏水地点を示す。旧河道と堤防の交差点で漏水が発生していることを見ることが出来る。

河川堤防の安全性の確保には、堤防及び基礎地盤について、水工学と地盤工学が水と土について密接に連携して、この重要研究課題に対応しなければならない。
多くの水工学研究者の堤防研究への参画が期待される。

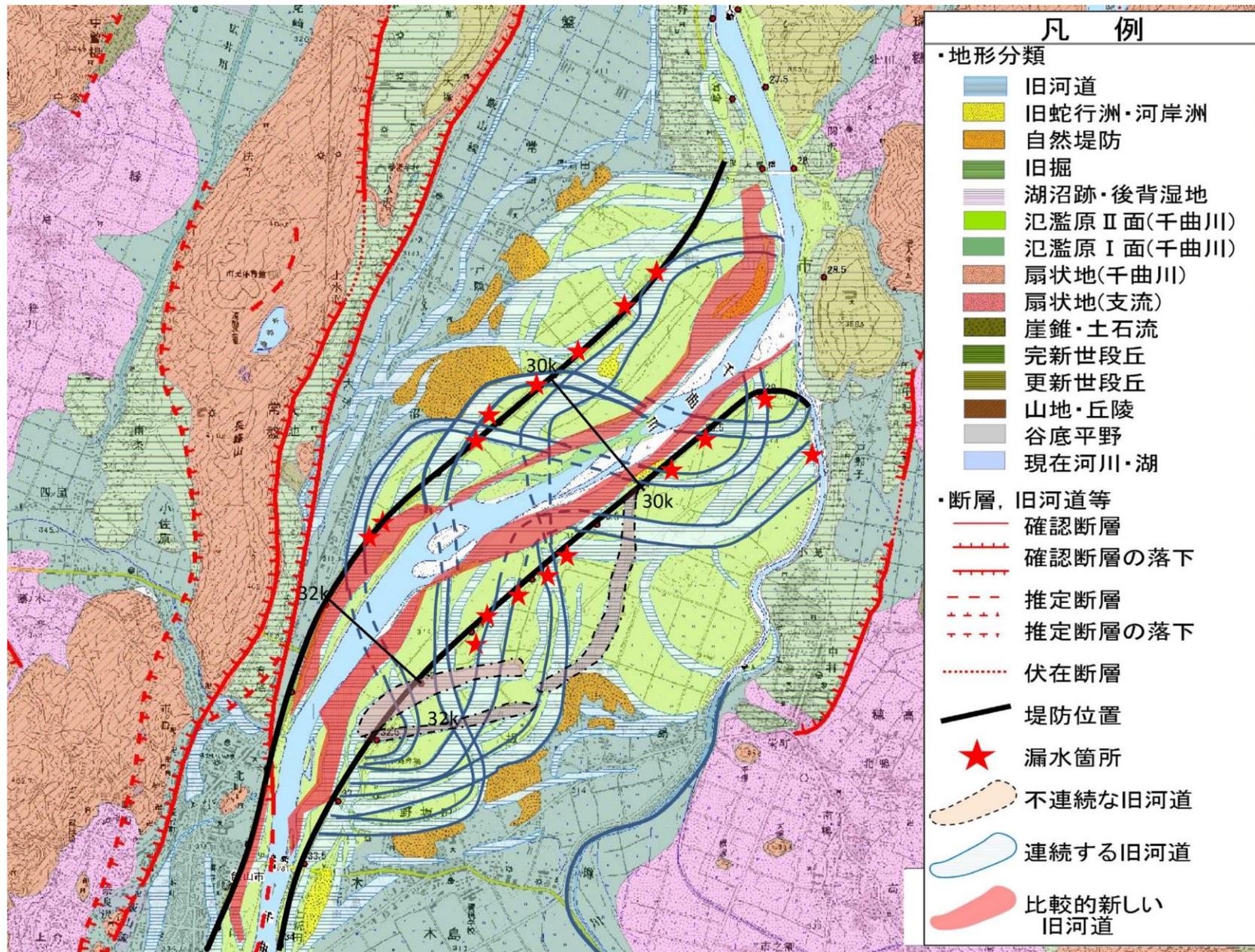


図 - 8 千曲川飯山盆地における旧河道分布と漏水箇所の関係

6. 基礎研究の充実化

今なお残る精度の低い学術，技術による評価法が使われ，中には実務上役立っているものもあるが，このことに対して水工学研究集団は，もっと敏感でありたい．大胆に基本から見直し，問題点を洗い信頼度を高める学術，技術にしていくことが必要と考える．

水文，水理現象を一体としてとらえることが必要な調査，研究が今後増大し，それに対応出来る学術，技術が準備されなければならない．そのためには，水文・水理現象の基本理解が，一段と重要になる．同様に，水工学と境界を接する他分野についての関心と理解増進も必要である．

(1) . 地下水流

- ・ 水資源
- ・ 堤防及び堤防基盤の浸透流
- ・ 土と水，土中の地下水流れ（浸透流，伏流水）

(2) . 乱流

- ・ 乱れの構造
- ・ 乱れと浮遊砂
- ・ 水中生物

- (3) . 河川上流域の洪水，土砂等の移動■■■■とその量
- ・ 流送される材料の形と大きさ，移動特性
 - 限界掃流力，非平衡土砂運動と輸送量，土砂の境界条件の算定
 - 流木の流下形態とその量
- (4) . 河床地形と生き物の生息場等
- (5) . 河口域の水理
- ・ 川と海の境界に係る水理・環境問題（海岸工学研究者との協働）
- (6) . 構造物の■■■■，破壊
- ・ 破壊外力と破壊現象

■ 水工学研究の今後のために一若手研究者，技術者への期待

現在の水工学研究について，どうあってほしいか，やや感覚的で具体性に欠けるが，私が願っていることを語りたい。

- (1) 水工学研究の方向性も技術も，内向きになり過ぎていないだろうか。多くの研究者がやっているからその研究が重要なのではなく，それをやらなければならない研究動機がしっかりしていることが重要で，その意識が創造的研究に結びつくと思う。研究を通して切磋琢磨することが必要であり，仲良しクラブ的研究集団では，研究は停滞する。現状を満足してはいけない。
- (2) 世界の水工学研究は，基礎も応用も著しく進んでいる。少なくとも私が関心の高い分野の日本の研究は停滞していることを意識してほしい。国内で満足するのではなく，海外に雄飛し，海外の研究者と研究をめぐって，火の出るような議論をする若手研究者を見たい。
- (3) 見直しが必要な古い研究結果が使われることにより起こる技術問題に真剣に対応しなければならないことも含めて，研究はもっと批判的で，前向きであってほしい。誰もやっていないような創造的な研究をやる気概をどう醸成していくか，水工学委員会や関連委員会は，この点を真剣に考えなければならない。

(4) 全体としてみて、指導する立場のシニア方々の研究に対する意欲、若手研究者を育てるが熱意が低くなっていないだろうか。若手研究者から、あのような研究者になりたいと思わせる研究者像を示してほしいし、それはシニア研究者の役割であると思う。私が若手研究者の時は、そういうシニアの研究者が多くおられ、研究レベルの低さを直接指摘され、刺激的であった。

(5) 水工学研究の世界は、他の分野と比較して行政との関係が密であり、委員会活動や頻発する災害に対する調査活動がある等、皆が忙しくなっている。このことは、水工学研究が社会と強い関りがある点で良しとすべきであり、生き生きとした研究課題を見つけ、積極的に研究を行う上で活用できるものである。