

河川技術シンポジウム  
2017年 6月15日

【基調講演】

# 洪水縦断水面形の活用から期待される 流域総合河川計画の展開

中央大学研究開発機構 教授 福岡捷二

# 講演内容

1. 河川計画と管理の基本情報としての洪水水面形
2. 洪水水面形に係る調査研究の歴史
3. 河川技術の体系化のながれ
4. 水害リスク軽減のための「流域総合河川計画」の展開
5. 鬼怒川の氾濫を教訓とした流域総合河川計画の展開
6. 水害リスク評価と減災まちづくりー都市の水災害安全度向上のための河川と都市の連携

# 1. 洪水水面形は、適切な河川管理に不可欠な情報であり、河川技術体系化のための基本情報である。

- ・河道システムは、洪水流の物理作用によって形成されてきた。河川を適切に管理していくには、洪水流の水理現象の十分な理解が不可欠である。
- ・河川の洪水流を、科学的に、そして、広域的、総合的に捉えるには、河道の地形、抵抗要素と流れの相互作用が明確に顕われている水面形の時間変化に基づいた考察が必要である。
- ・洪水の水面形の観測値とそれを用いた解析結果は、洪水流の流下・輸送機構(流量、波形、土砂移動量等)、河道の地形変化過程等を一体的な水理システムとして広域的、総合的に説明することが出来る。
- ・洪水流の水面形を観測することは、水面形の観測誤差を減らすことだけでなく、洪水現象の総合的理解から、河川技術の体系化につなげることである。

## 2. 河川技術における洪水水面形の持つ重要性に関する調査研究の展開

1. 1986年, 建設省土木研究所河川研究室が涸沼川に洪水観測施設を作り, 水面形等洪水流の観測を始める.
- 2, 建設省の直轄技術研究会で, 洪水流の粗度に関する全国調査が行われた.  
その中で, 近畿管内 円山川で実施された1987年10月の台風19号における洪水流の水面形観測が洪水流の本質に触れるデータを提供した.
3. 1997年関東地方建設局に「洪水流の非線形研究会」が組織され, 利根川, 荒川, 江戸川, 多摩川で洪水水面形の観測を始める.
4. 2001年9月江戸川で大洪水発生, 3日連続の水面形観測が行われた. 円山川, 江戸川の観測水面形を用いた洪水流解析が行われ, 河道貯留について議論された  
福岡捷二, 渡邊明英, 原俊彦, 秋山正人: 水面形の時間変化と非定常二次元解析を用いた洪水流量ハイドログラフと貯留量の高精度推算, 土木学会論文集, 第761号/II-67, pp.45-56, 2004.

5. 建設省河川現場において多点に水位を観測し、洪水観測水面形を用いた洪水流解析結果の河川管理への反映
  - ・福岡捷二：洪水流の水面形観測の意義と水面形に基づく河川の維持管理技術，河川技術論文集，12巻，pp. 7－12，2006.
  
6. **河川砂防技術基準 調査編の大幅改訂**．河川を水理システムとして見ること，洪水流の観測水位を用いて河川管理を広域的，総合的に扱うことの重要性が強調された．
  
7. **鬼怒川水害の教訓**－洪水水面形を用いた解析から鬼怒川洪水から何が分かったのか，今後の河川改修，河川管理のあり方の議論が活発化．
  - ・福岡捷二，田端幸輔，出口桂輔：平成27年9月洪水における鬼怒川下流区間の流下能力，河道貯留及び河道安定性の検討，河川技術論文集，22巻，2016.
  - ・福岡捷二：洪水流の水位と流量の今日的考え方－多点で観測された洪水水位と水面形から河道の水理システムを見える化する－土木学会論文集B1(水工学)，Vol. 73，2017
  - ・福岡捷二：洪水水面形観測情報の広域的・統合的活用による流域治水の考え方の構築に向けて，河川技術論文集，23巻，2017.
  
8. 2017年度河川シンポジウム特定課題オーガナイズドセッション(OS1)  
「多地点・多量の観測情報を有効に活用する新しい河川技術」

# 涸沼川洪水観測施設

・那珂川水系涸沼川28.1kmに1986年建設。

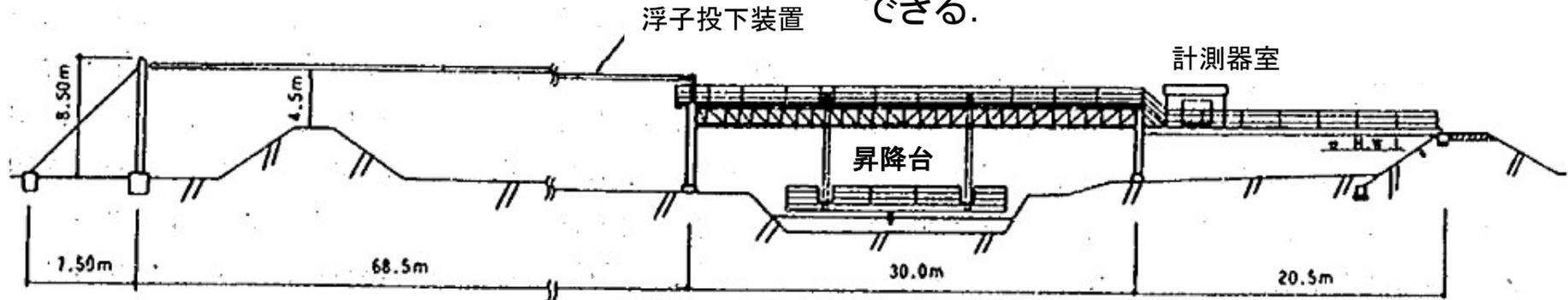


## 涸沼川洪水観測施設

涸沼川 流域面積446km<sup>2</sup>  
流路延長65km



洪水水位に応じて昇降台が上下でき、水位、流量、流砂量、流速分布等の測定ができる。



涸沼川観測施設(縦断図) 出典:土木研究所所報180号(1990)他

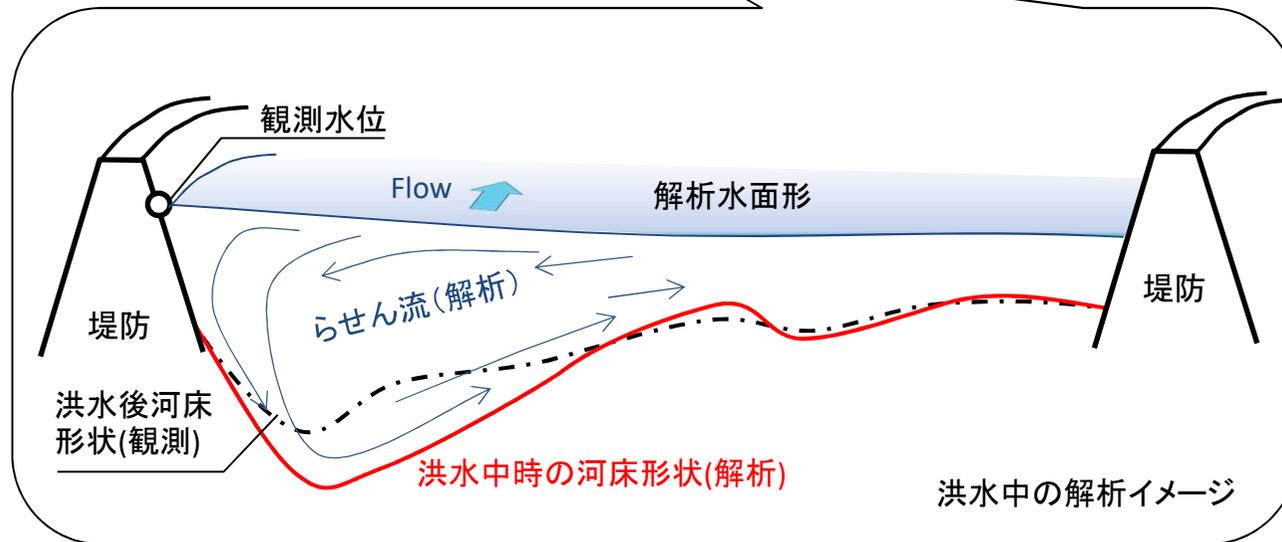
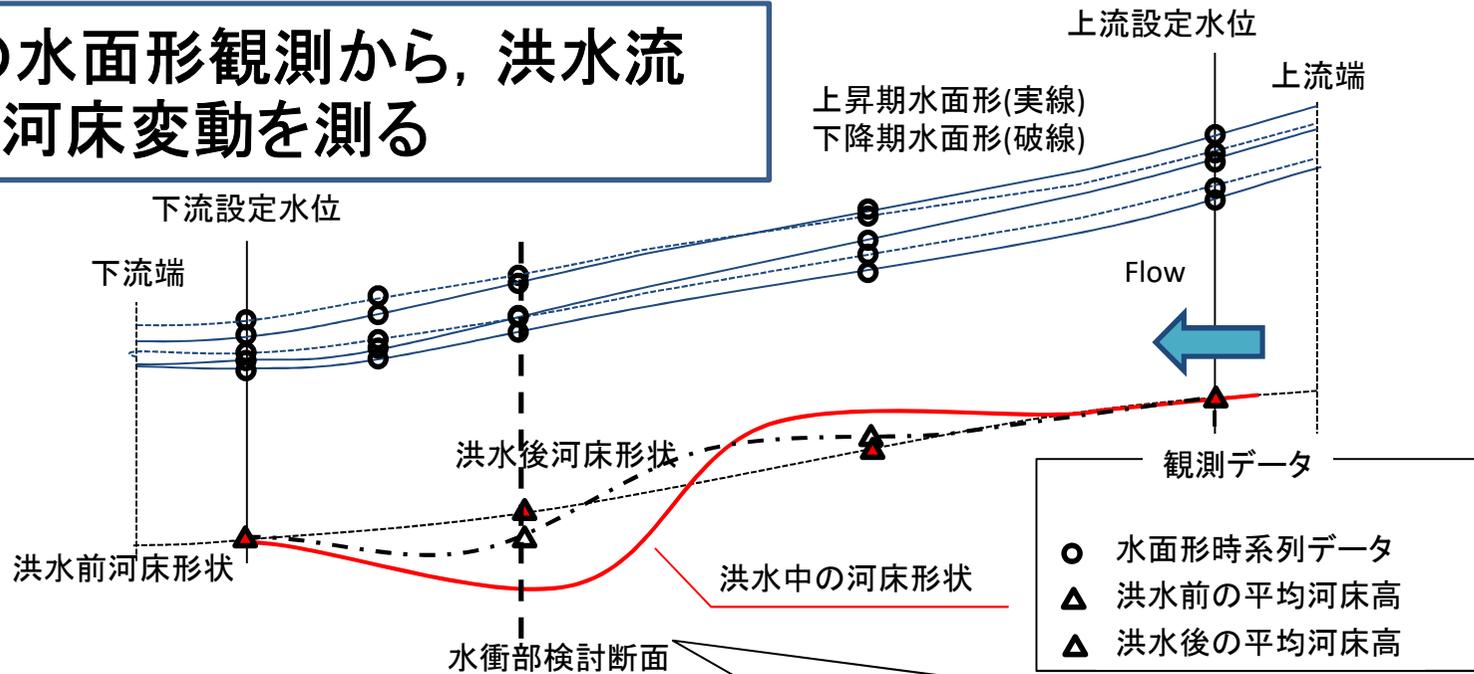
# 1990年代後半，洪水観測で使われた簡易な方式の水位計

江戸川での洪水流観測のための簡易水位計の設置



平成10年(2001年)9月 江戸川で洪水水面形観測のために水位を多点で行うための準備の様子。(関東地建 洪水流の非線形特性研究会)

# 洪水流の水面形観測から、洪水流の構造と河床変動を測る



水面形時系列データに基づく洪水流・河床変動解析による洪水流の内部構造と流れと河床変動の一体的解法と解析結果の見える化

福岡

# 河川砂防技術基準 調査編

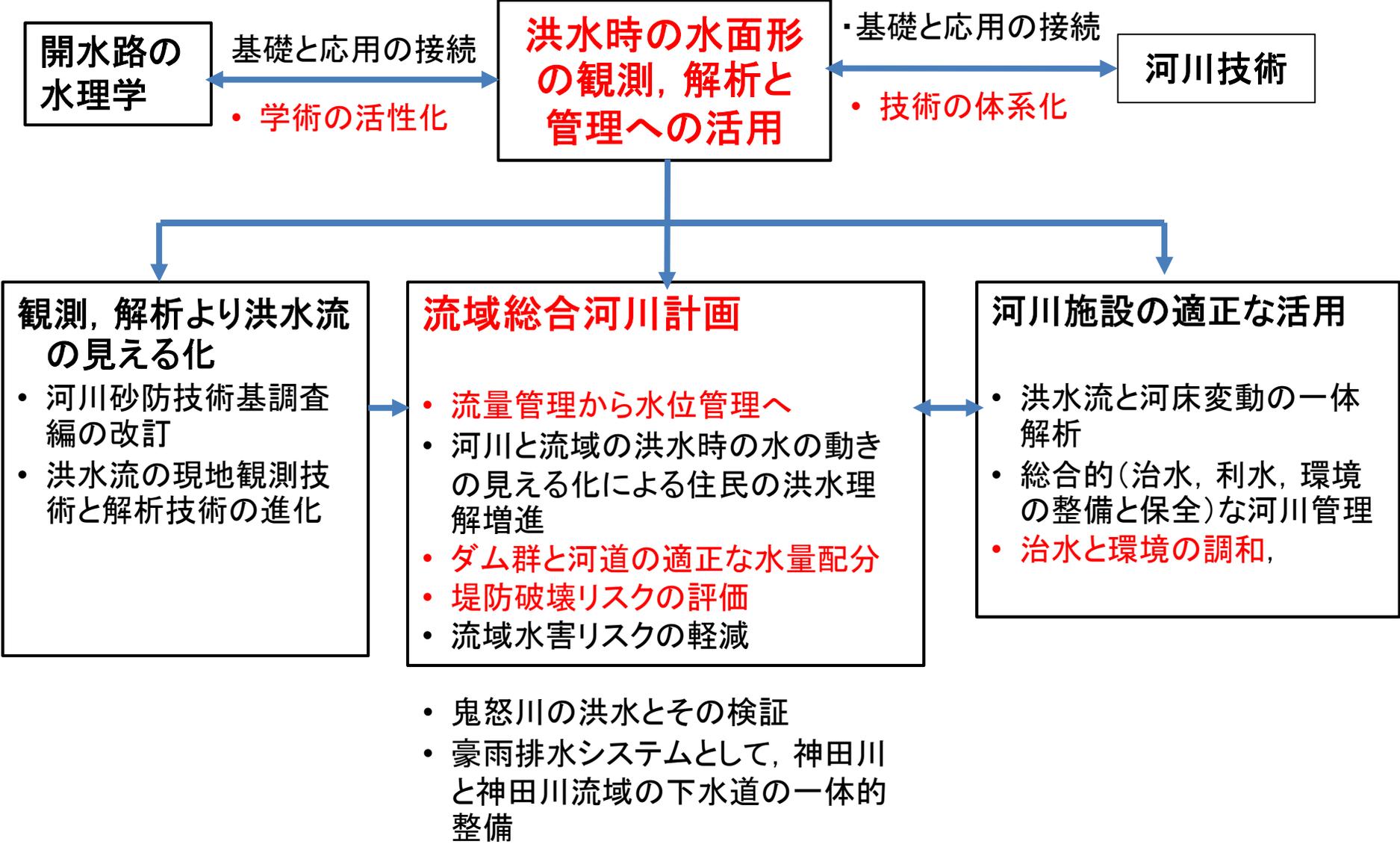
平成24年6月

国土交通省  
水管理・国土保全局

河川砂防技術基準，調査編**改定のポイント**は，水位計を多点に設置することによって，洪水流水面形の観測を行い，**川の流れを上流から下流まで広域的，総合的に見て，水理システムとして捉え，判断することである。**

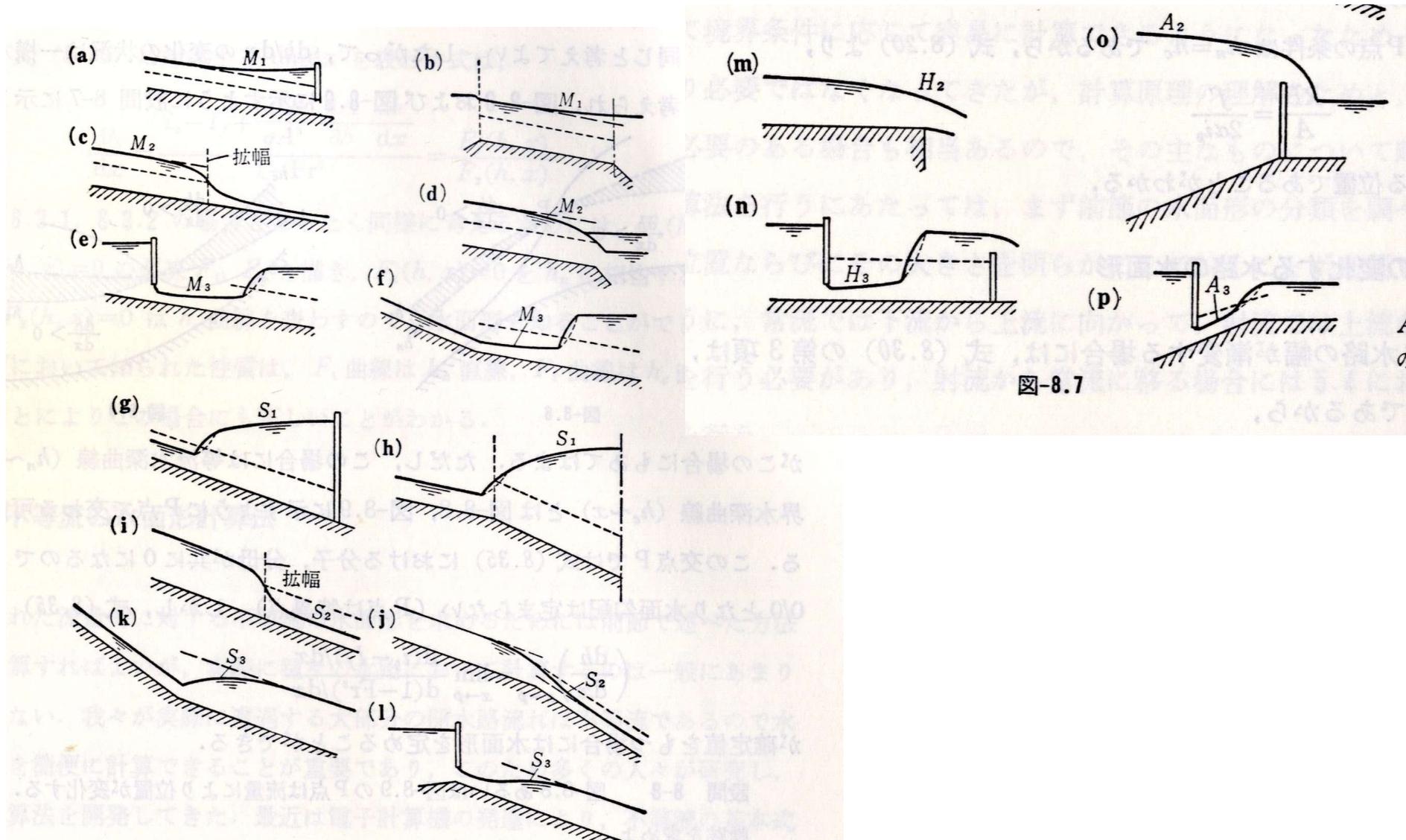
水面形の観測値から，洪水流量ハイドログラフを含む流れの基本的な情報が得られることが明記された。

# 3. 河川技術の体系化のながれ

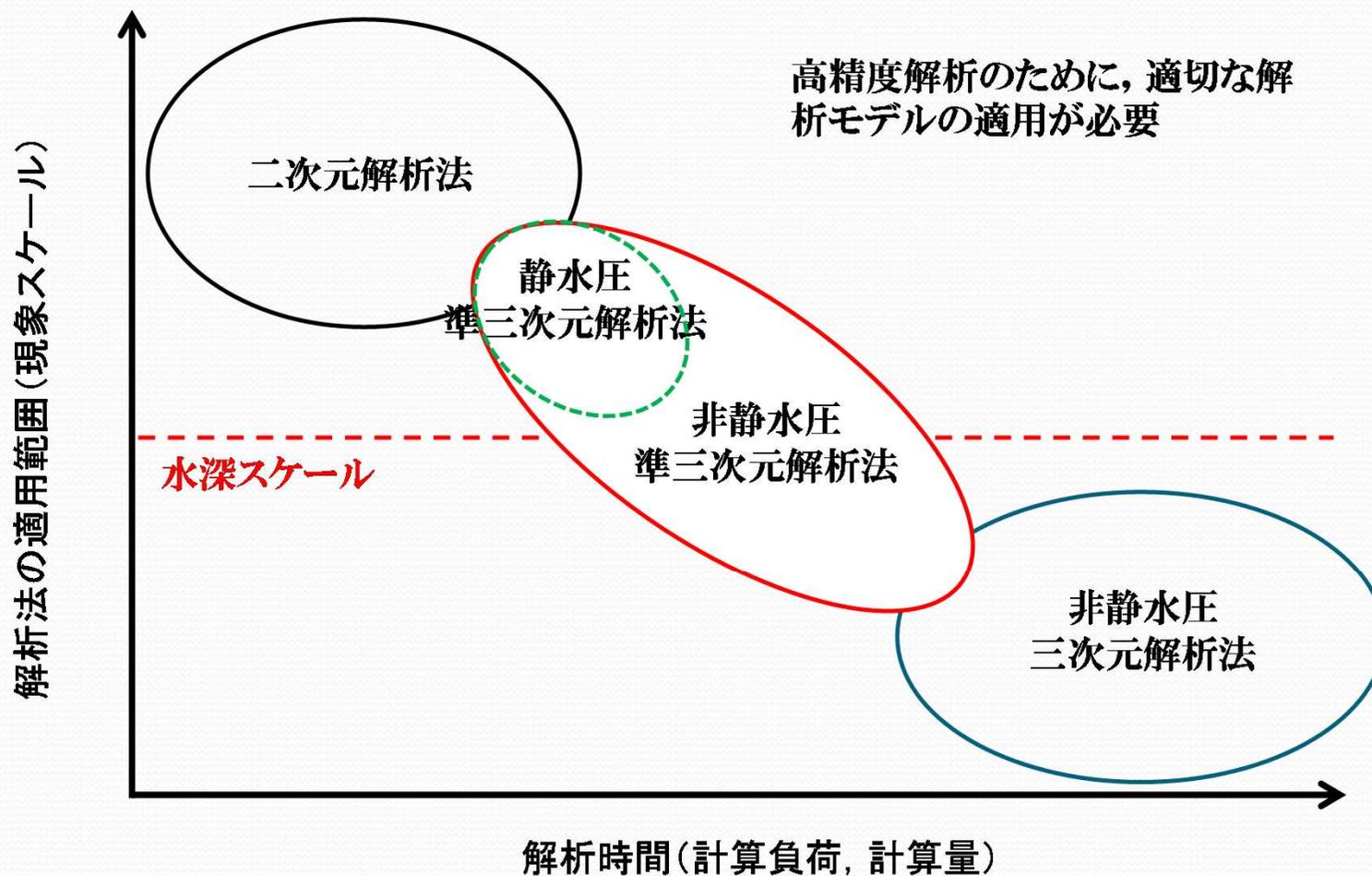


# 開水路流れて見られる多様な水面形

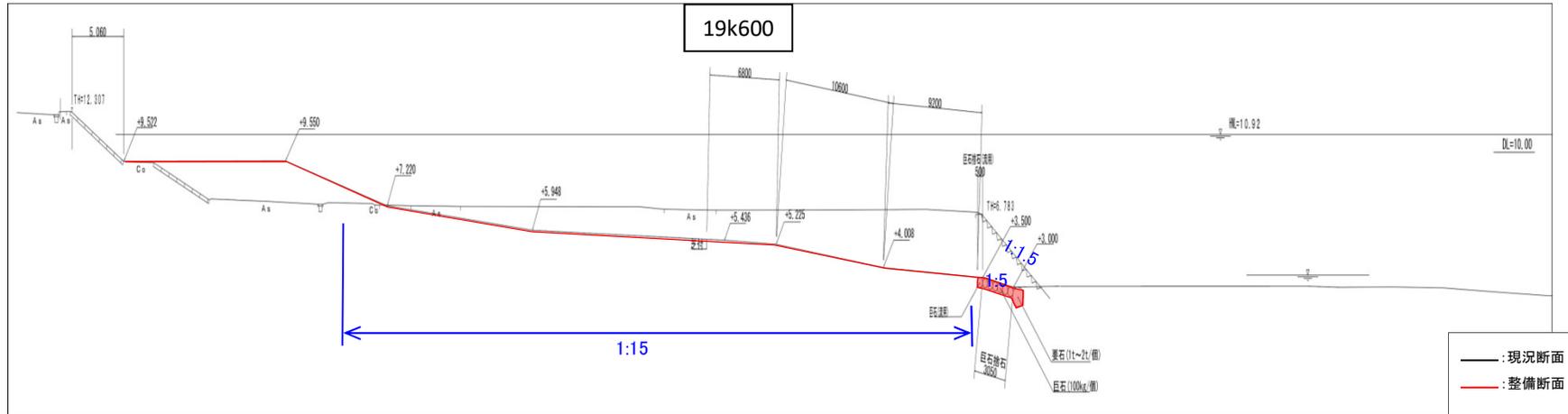
水面形は、開水路流で見られる最も重要な水理現象である。



# 観測水面形を用いた流れの多重構造の解明ー広域の平面 二次元流れと構造物周辺の局所三次元流れの一体解析



## 複断面河道から船底形河道へ改修



### ○整備前後の比較



巨石付き盛土砂州(常願寺川 11.7km付近)  
治水と環境の調和した河岸防護施設(土木学会 技術賞 I 2015年度)



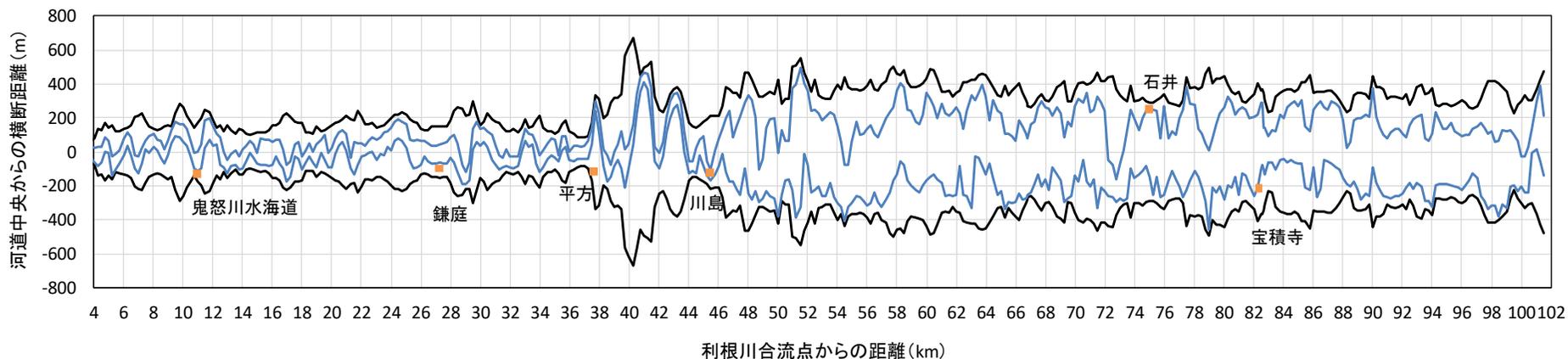
## 4. 水害リスク軽減のための「流域総合河川計画」の展開

1. 2015年9月に鬼怒川洪水で発生した氾濫が、長時間、広い範囲に浸水をもたらし、逃げ遅れた多くの住民がヘリコプターで救出された。
2. 今後も河川の現在の実力を超える洪水が、全国で発生し、甚大な氾濫被害が生ずる可能性が高い。  
治水の安全性のアップを図るには洪水流と地形特性を考慮したダムや堤防・河道等治水ストックの効果的活用が効果的である。これは、流域と河川の適正な水量配分の実現を狙いとする「流域総合河川計画」で実践される。
3. 河川堤防の破壊危険確率、堤防の脆弱性指標等による堤防の破壊危険性評価と流域の土地利用等を考慮した河川水害リスク軽減に向けた治水対策と減災まちづくりの具体的議論の展開が待たれる。
4. 減災まちづくりに必要な河川・下水道、都市部局や他分野間の連携。

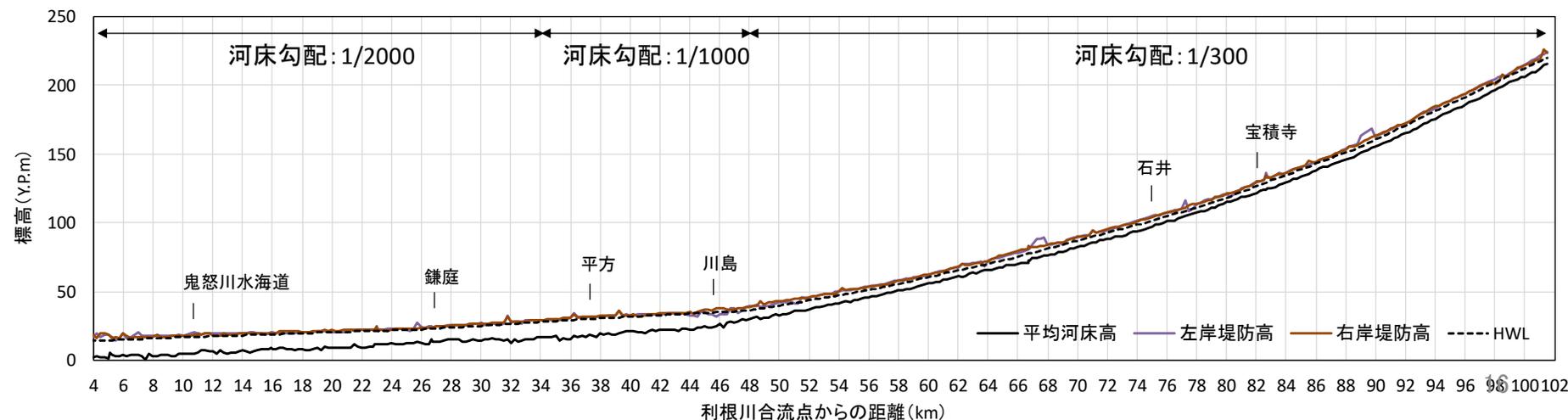
# 4.1. 平成27年9月鬼怒川 大洪水の検証と流域総合河川計画

## 鬼怒川洪水で何が起きたのか

### 河幅の縦断分布



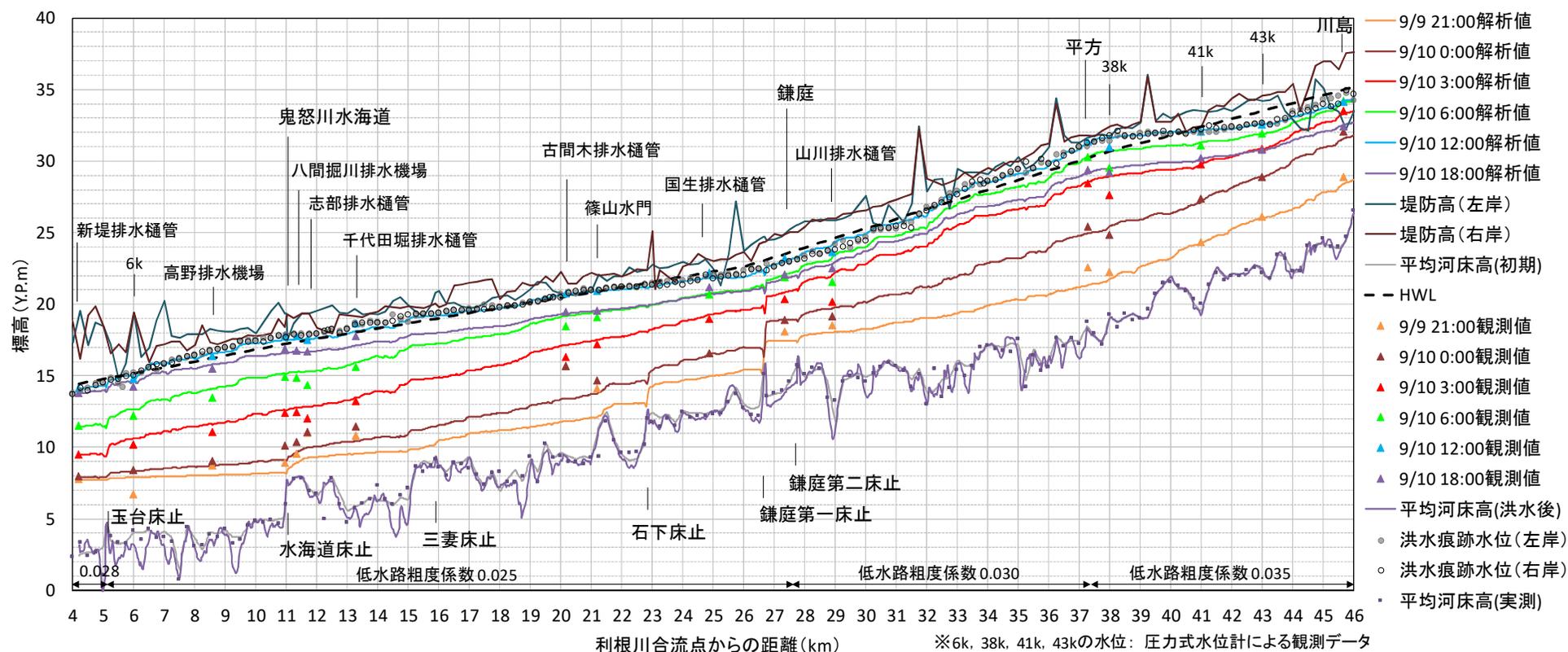
### 河床高の縦断分布



## 4.2 平成27年9月鬼怒川洪水の検証計算

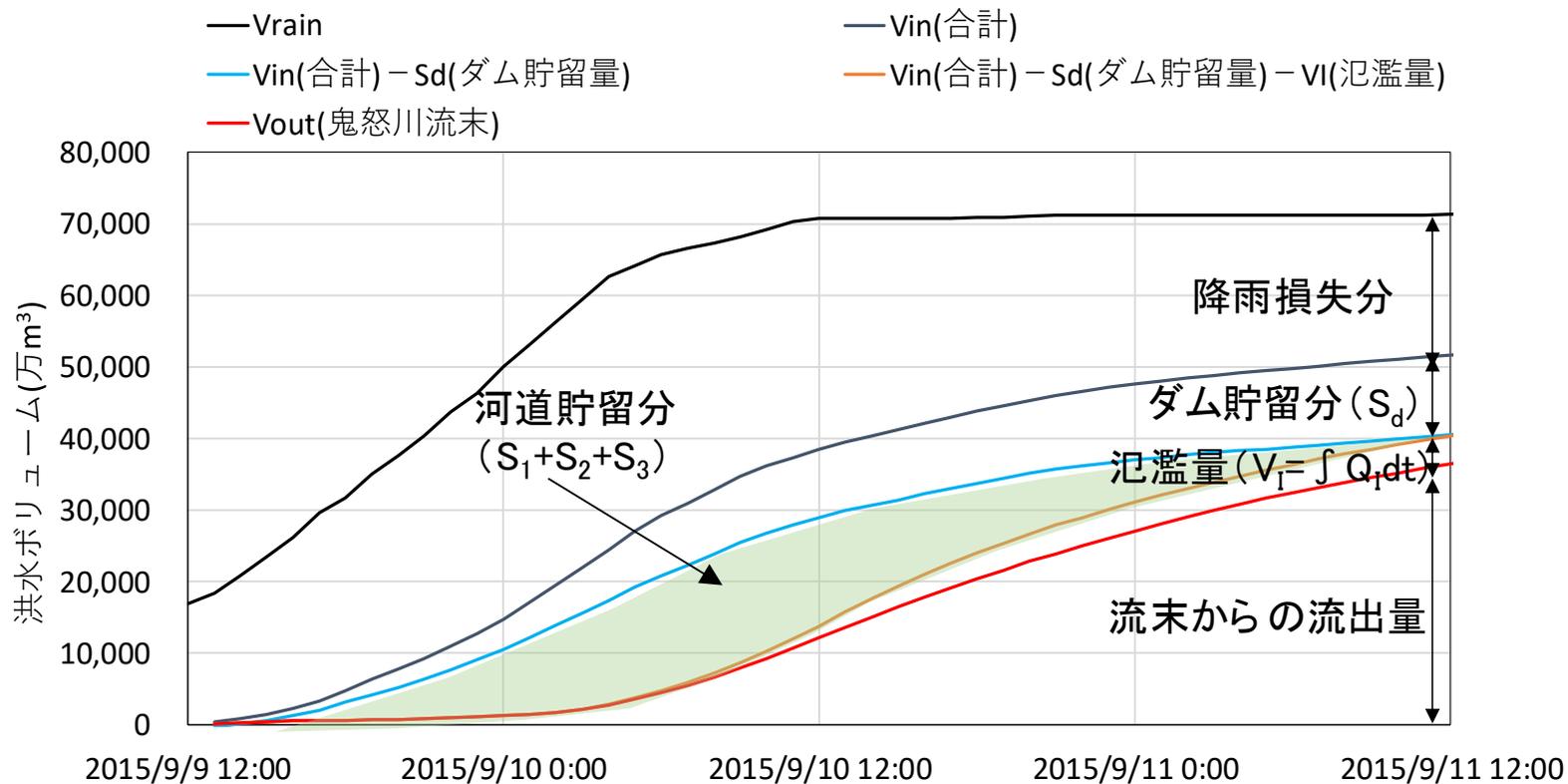
### 水面形の時間変化(下流部)

下流部の水位縦断形は、HWLか、それ以上であった。河積が縦断方向に大きく変わるため、大きな河道貯留が生じ、各時間の水面形は河床縦断形に平行とはならない。水面形と平均河床高の解析値は、全体的にみて実測値を説明している。



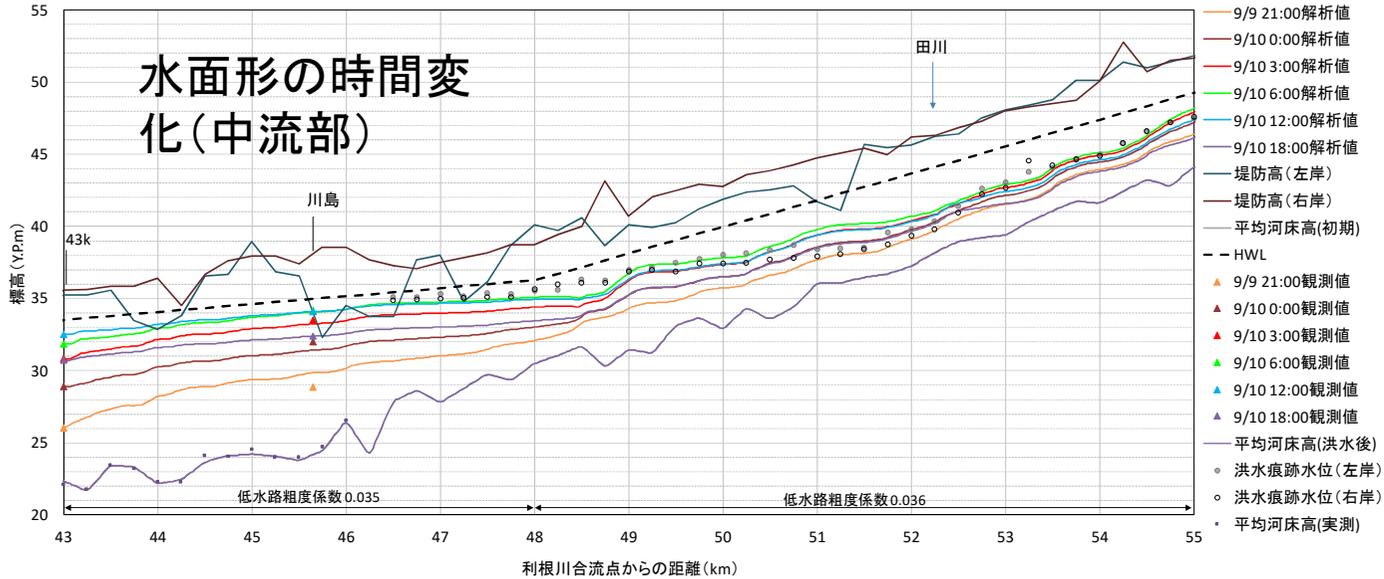
### 4.25～46k区間の水面形時間変化の観測値と解析値の比較

## 4.3 全降雨量と全洪水ボリューム，ダム群による貯留量，河道貯留量，氾濫量の関係

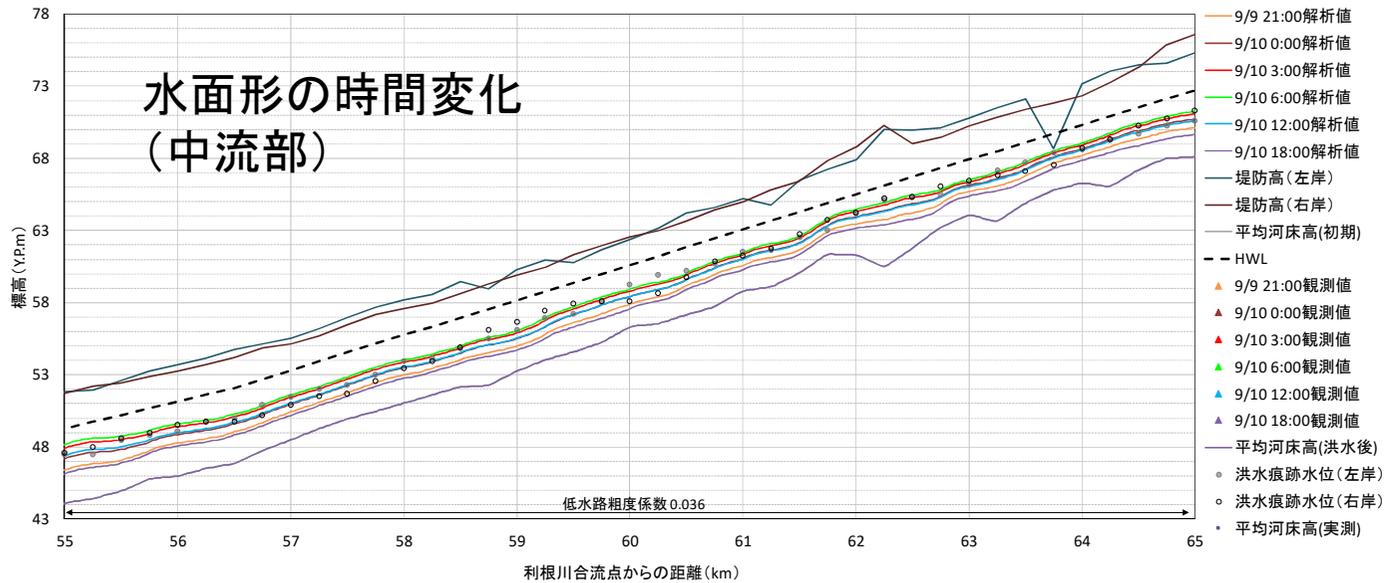


中流部では、洪水は計画高水位より十分低い水位で流れていたが、  
下流部では、堤防からの越流が生じるほど水位が高かった。

43～55k



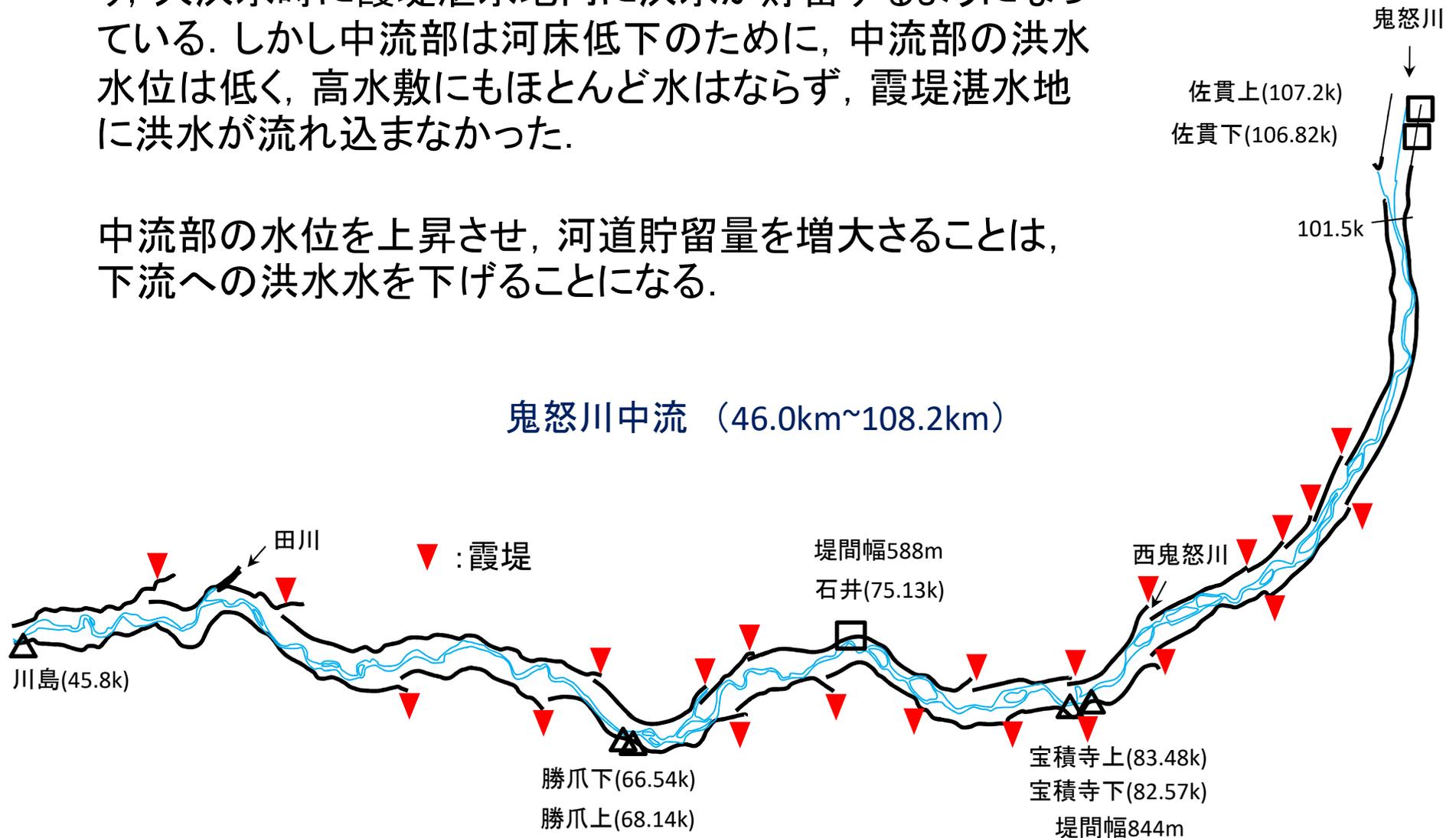
55～65k



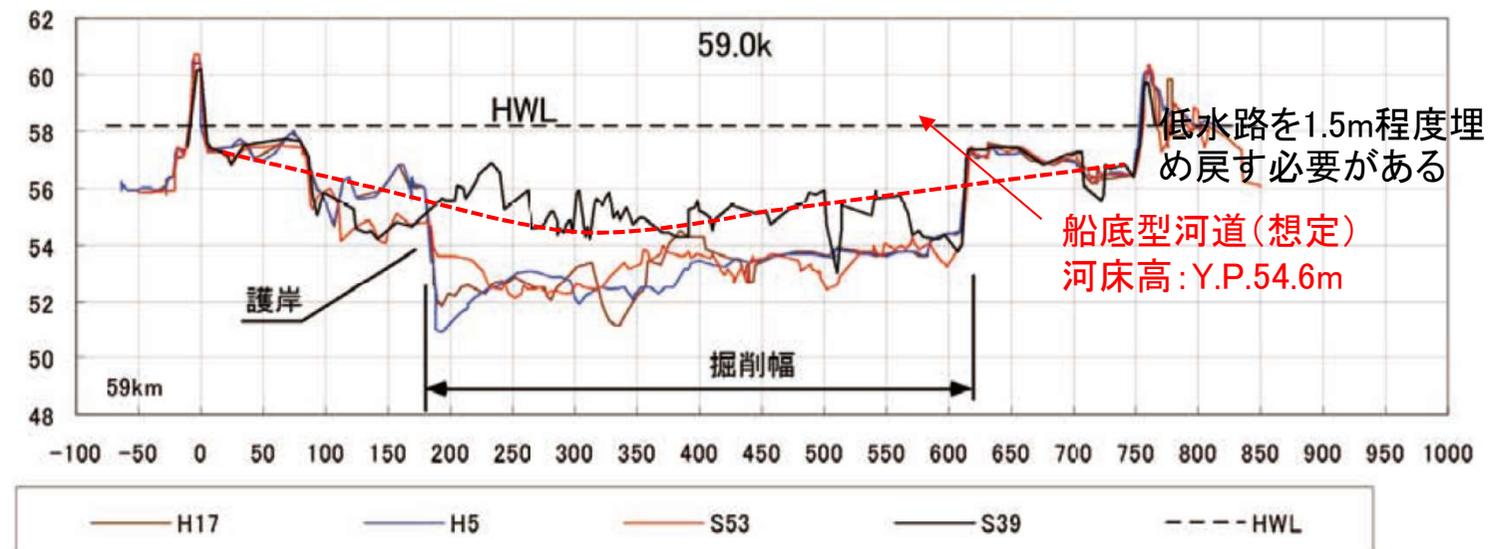
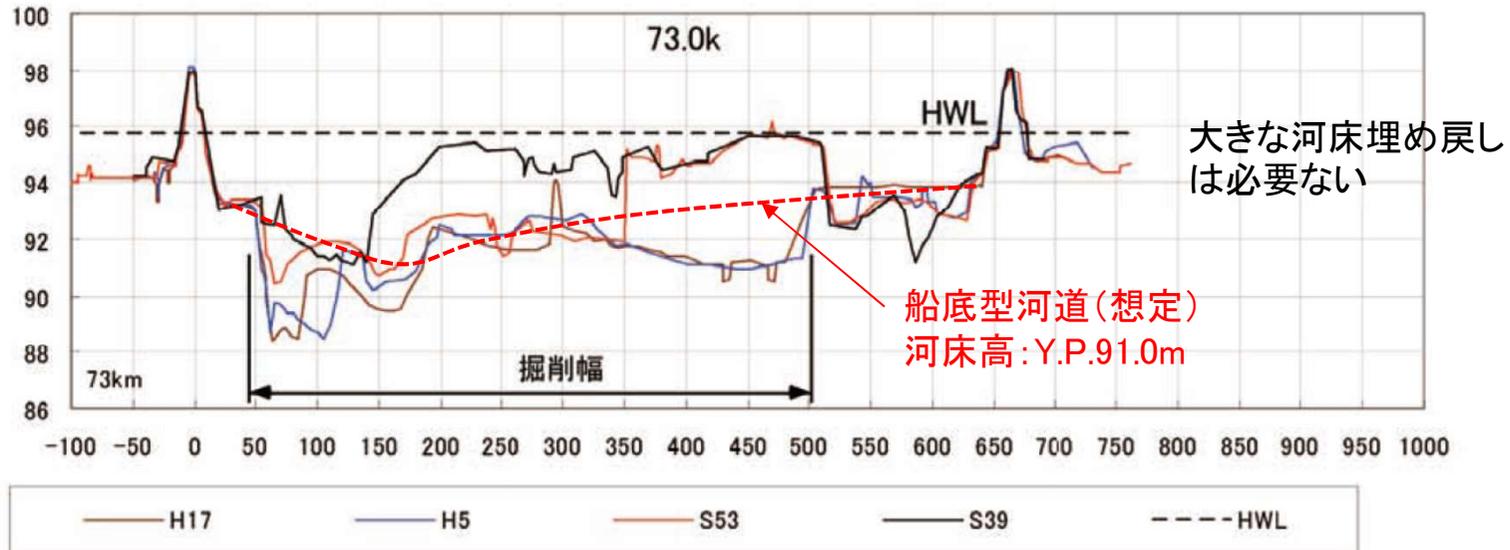
## 鬼怒川 中流の霞堤

鬼怒川中流には、22か所の霞堤が計画的に設置されており、大洪水時に霞堤湛水地内に洪水が貯留するようになっている。しかし中流部は河床低下のために、中流部の洪水水位は低く、高水敷にもほとんど水はならず、霞堤湛水地に洪水が流れ込まなかった。

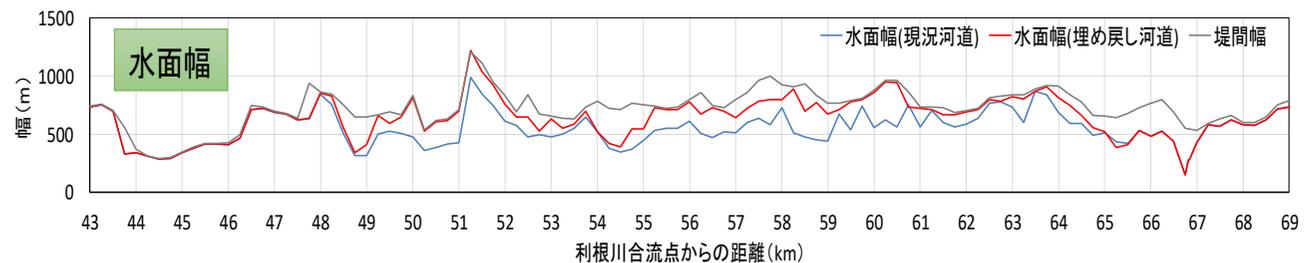
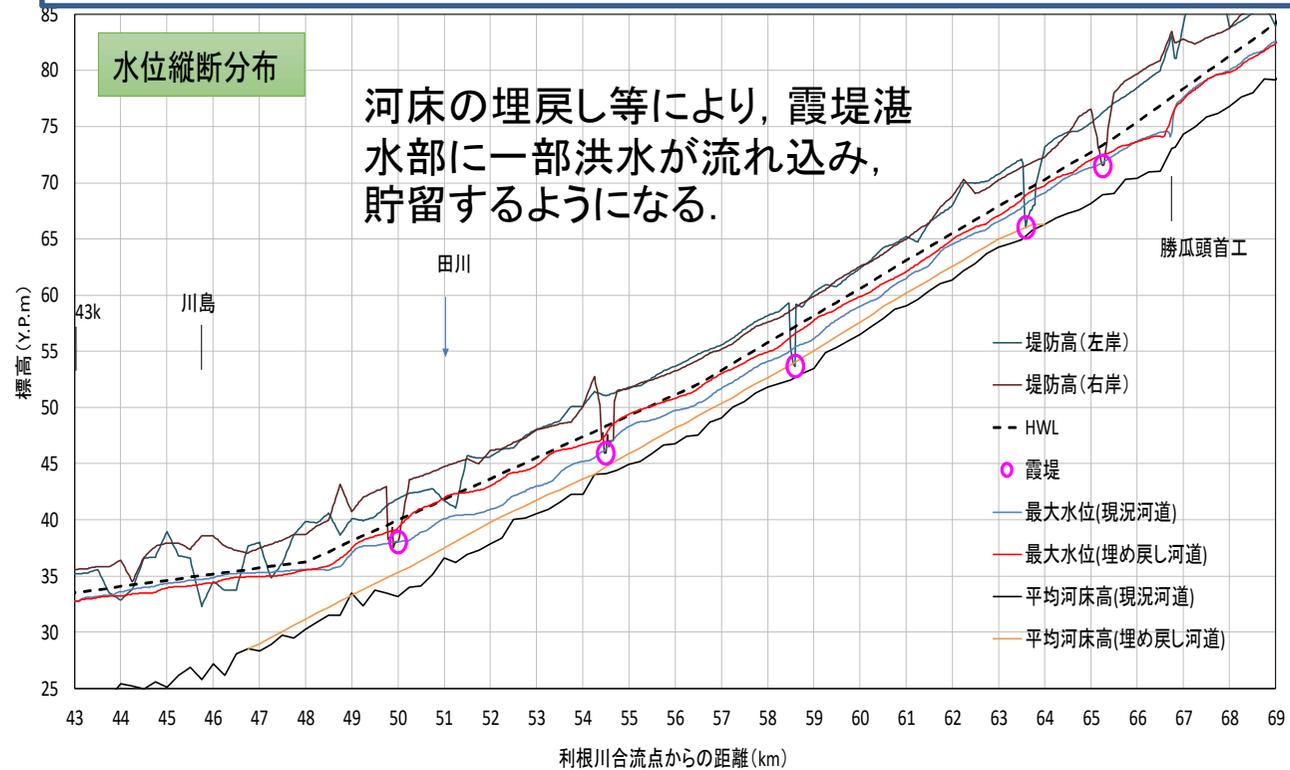
中流部の水位を上昇させ、河道貯留量を増大させることは、下流への洪水水を下げることになる。



## 4. 4 中流部の河道貯留を増大するための試み：低水路河床高の埋戻しと高水敷切土による複断面から船底形河道への改修

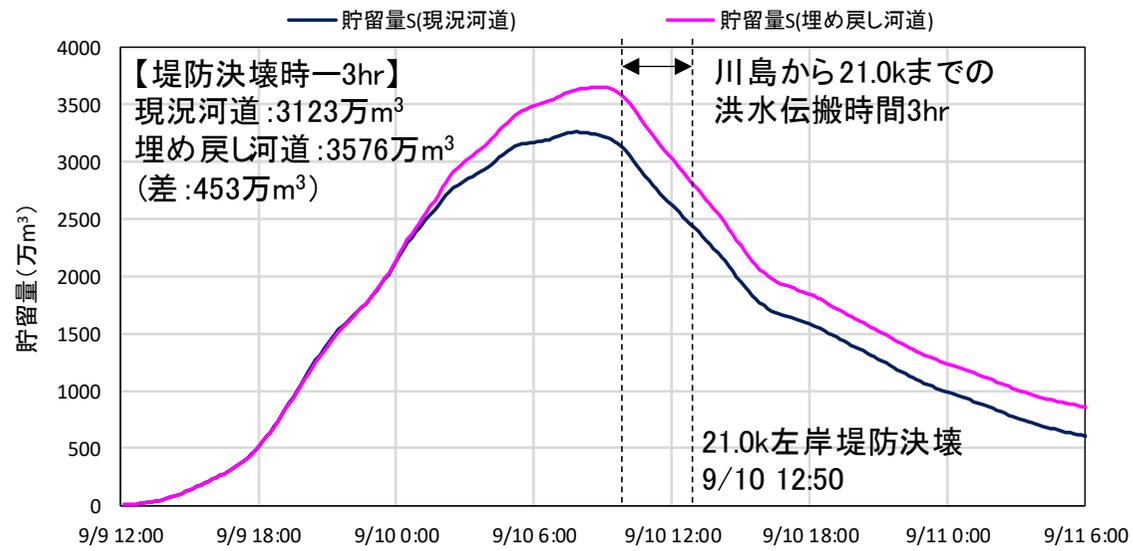
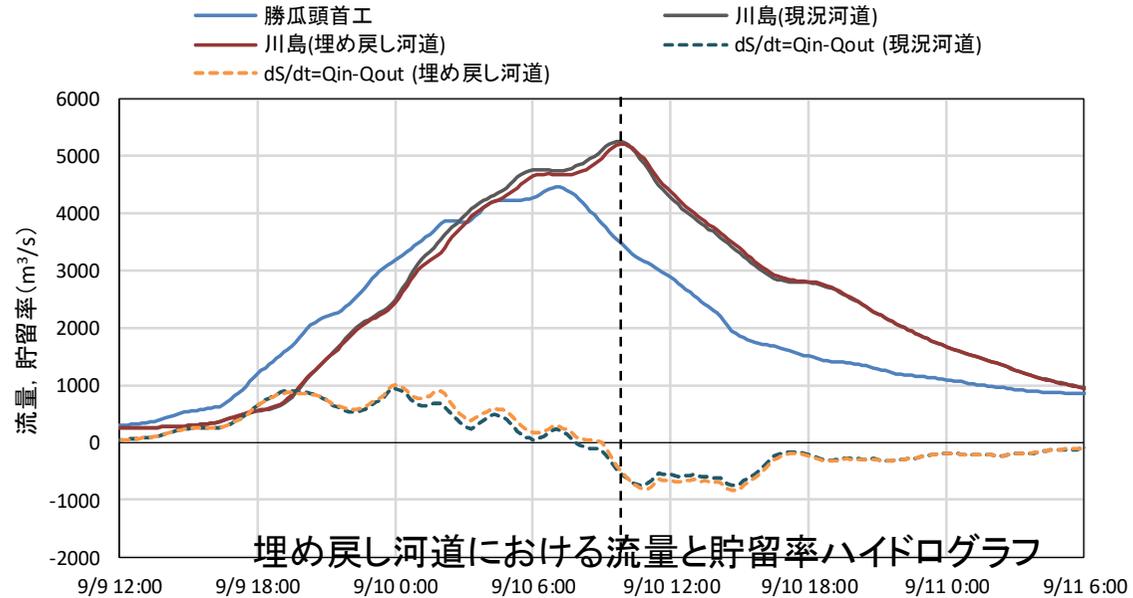


# 改修された埋戻し河道の水位，水面幅の増大



河床の埋戻しによる河床高の変更については，社会的合意が必要である。また，埋め戻し土量の確保，施工の実現性，整備後の河床の長期的な安定性等について，技術的検が必要である。

# 埋め戻し河道における貯留量の時間変化



## 5. 鬼怒川の氾濫を教訓とした流域総合河川計画の展開

- ・鬼怒川を例に示す「流域総合河川計画」は、流域における水害リスク軽減のために川ダム群や河道における治水施設のストックを洪水流の貯留機能を活かしながら効果的に使い、流域の水量収支を適正化するとともに、河川と流域で一体的に水害リスク軽減を目指すものである。
- ・水害リスク評価のために、堤防の破壊リスク、(堤防破壊危険確率, 脆弱性指標), 氾濫リスクの導入が必要である。
- ・気候変動等に対し、現在の治水計画でも対応できる河川流域はあると思われる。しかし、今後増大する水害リスクについては、十分とは言えない。「流域総合河川計画」は、流域に適応した水害リスクの軽減を多重的手段によって検討するもので、流域ごとにその方法は異なる。
- ・河川管理者から提供される種々の洪水規模に対する堤防リスク, 氾濫リスク情報に基づき、洪水氾濫リスクを軽減する「まちづくり」, 「地域づくり」を「地域づくり協議会」等で行う。
- ・ハード技術とソフト技術の融合, 部局間, 他分野間の連携による多重的な流域管理技術を創造することが期待される。

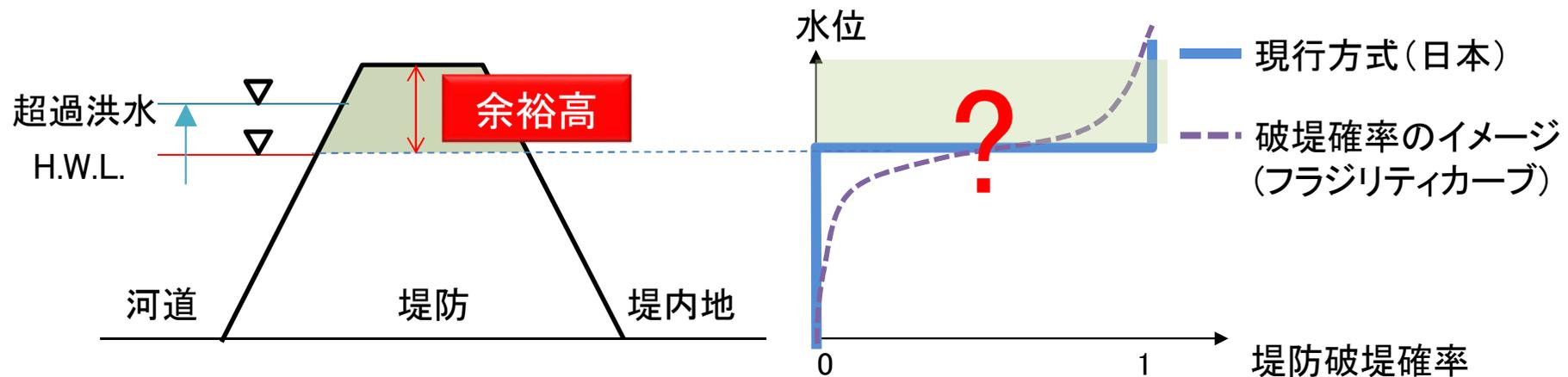
## 5.1 氾濫リスクを考慮した河川整備・管理と水害リスクの軽減

- ・気候変動による洪水外力の増大に対し、**河川・流域が抱えるリスクを踏まえた流域総合河川計画の考え方が**これからの治水計画に重要である。
- ・**計画高水位以下の水位に対する通常の洪水の作用に対して安全となる現在の計画の実行が最も優先される。**超過洪水に対しては、現在の河川の実力を正しく評価した危機管理対策で対応する。
- ・河川堤防ボーリング調査の土質データを活用し、**堤防の余裕高部分まで洪水水位が上昇したときの堤防の破壊危険確率を評価する。**これにより、**堤防の信頼性と堤内地の水害リスク分析を合わせた氾濫域のリスクマネジメントを検討する。**
- ・超過洪水による氾濫対策にあたっては、河川管理者から提示される氾濫リスク情報を活用し、**都市、地域との連携による被害軽減を進める。**

## 5.2 堤防リスク管理—堤防破壊危険確率と堤防脆弱性指標

現在の治水計画は、計画高水位 (HWL) までは治水施設によって守られ、これを超えると直ちに堤防の決壊が発生するとしている。多くの河川は整備途上にあることから、洪水流は、**余裕高**部分まで流れることが多くなっている。

水害リスクの評価のためには、洪水外力に対して堤防の浸透・滑り破壊の危険性の判断、および避難のための堤防決壊までの時間の見積もり、さらには、堤防強化等の技術の確立が喫緊の課題となっている。

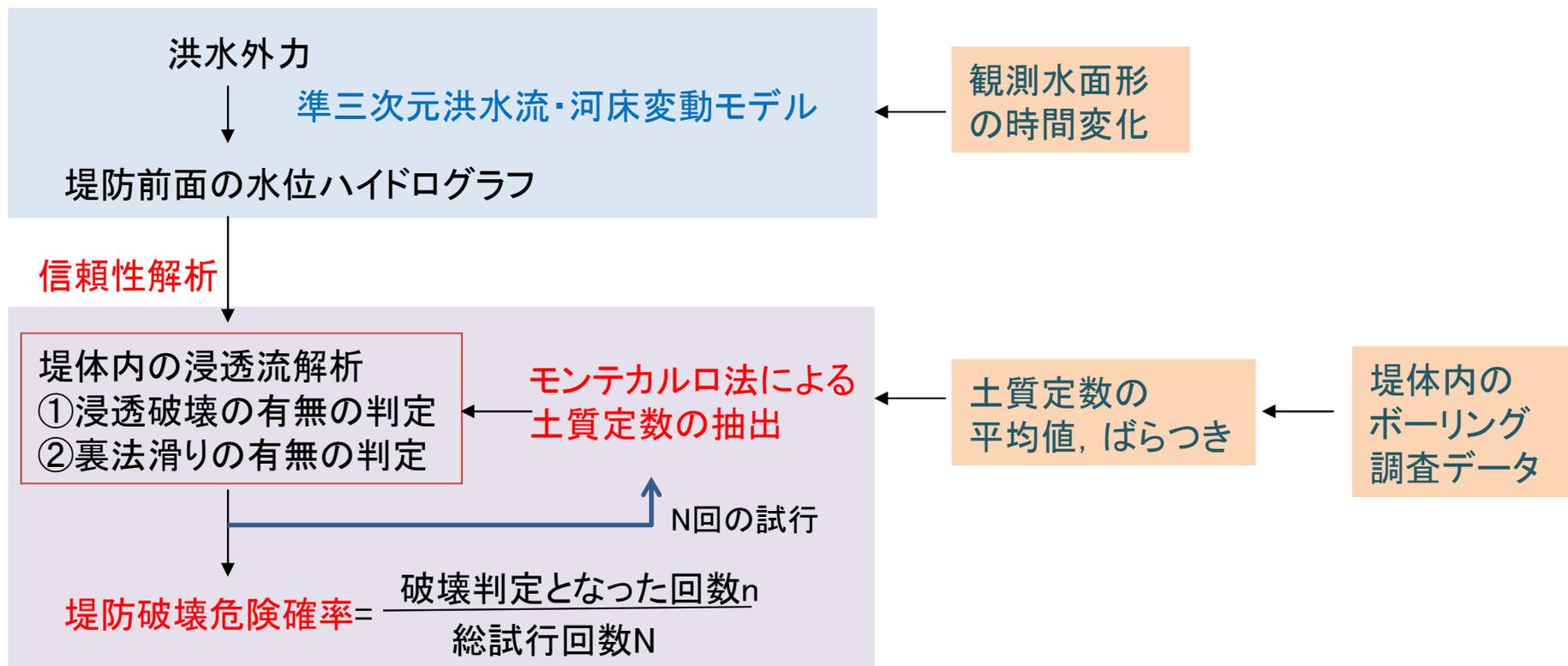


## 5.3 堤防破壊危険確率の推算

### 3-1 堤防破壊危険確率の推算法の概要

堤防前面沿った洪水の水位ハイドログラフを用いて、堤体内浸潤線と裏法の滑り挙動を算出する。堤防の土質定数( $k$ ,  $c$ ,  $\Phi$ )は確率的諸量であることから、堤防の信頼性解析を行うことにより、浸透・滑りの破壊危険確率を算出する。

#### 洪水流・河床変動の解析

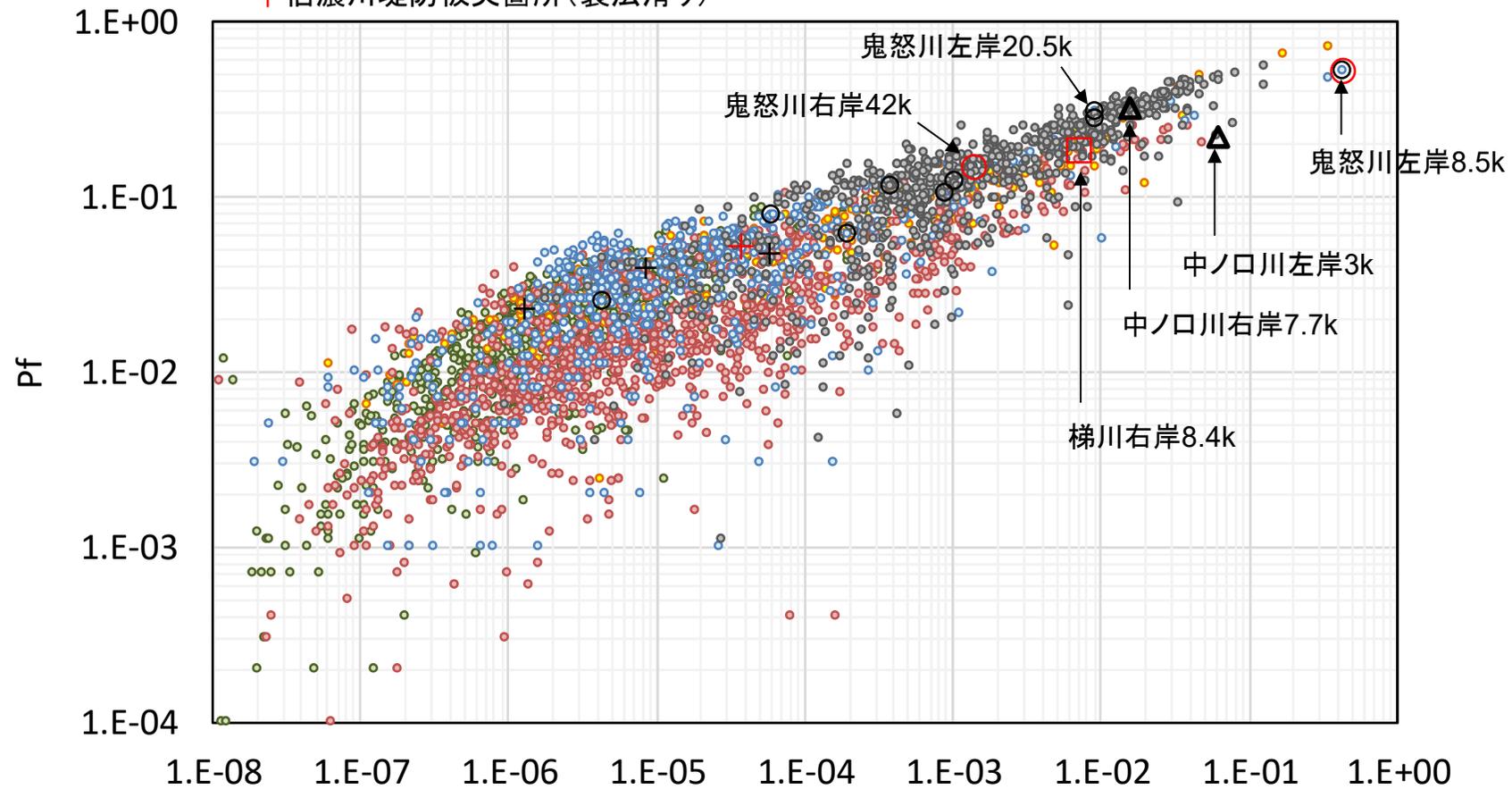


洪水流による堤防の滑り・浸透破壊危険確率の推算手順

# 5.4 堤防基礎データ, 破壊危険確率から見た危険箇所の推定

## 堤防脆弱性指標と破壊危険確率の関係

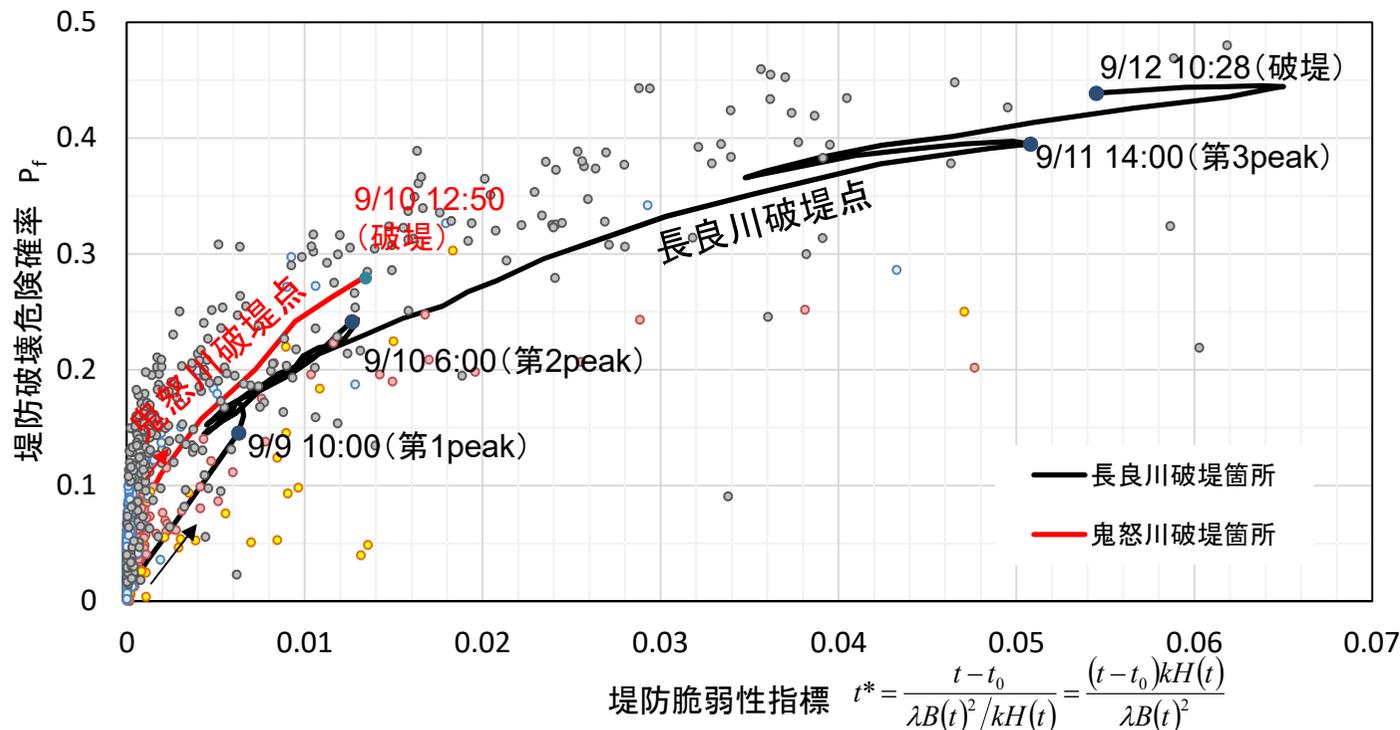
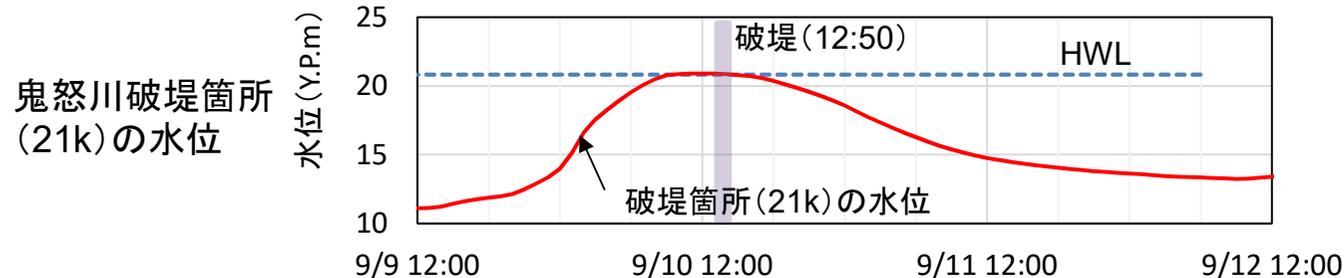
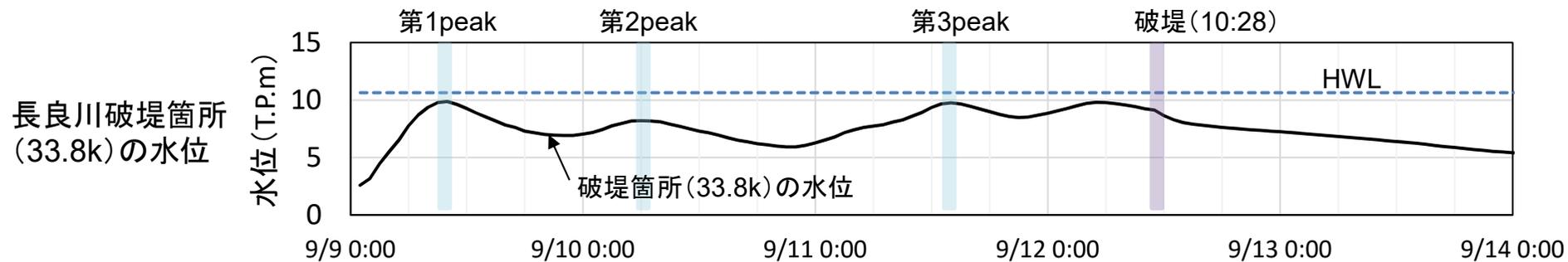
- 江戸川
- 信濃川
- 中ノ口川
- 鬼怒川堤防被災箇所(裏法滑り)
- △ 中ノ口川堤防被災箇所(漏水)
- + 信濃川堤防被災箇所(裏法滑り)
- 梯川
- 鬼怒川
- 鬼怒川堤防被災箇所(漏水)
- 梯川堤防被災箇所(裏法滑り)
- + 信濃川堤防被災箇所(漏水)



堤防脆弱性指標  $t^*$  と破壊危険確率  $P_f$  の関係

$$\text{堤防脆弱性指標 } t^* = \frac{t - t_0}{\lambda B(t)^2 / kH(t)} \quad 28$$

# 長良川と鬼怒川破堤箇所における堤防破壊危険確率と堤防脆弱性指標を用いたタイムライン化



## 6. 水害リスク評価と減災まちづくりー都市の水災害安全度向上のための河川と都市の連携

1. 堤防の破壊危険確率と堤防脆弱性指標の評価法の確立により、堤防の破壊リスクをかなりの信頼度で推定できるようになってきた。
2. 各地域ブロックごとの堤防の脆弱性指標の値を住民に正しく伝えることにより、地域が積極的に氾濫リスクを考える機会となる。
3. 堤防破壊危険確率等を用い、対象流域の氾濫によって蒙るハザードを適切に選定することによって、まちづくりの側からの主体的な検討が可能となる。流域自治体を中心とする流域協議会等が検討の場になる。
4. 水害リスクが明らかになると、大規模水災害に対して水害保険や税制などのリスクファイナンス適用策も検討の対象になる。

## 6.1. 河川と下水道施設の統合運用化による水防災まちづくり

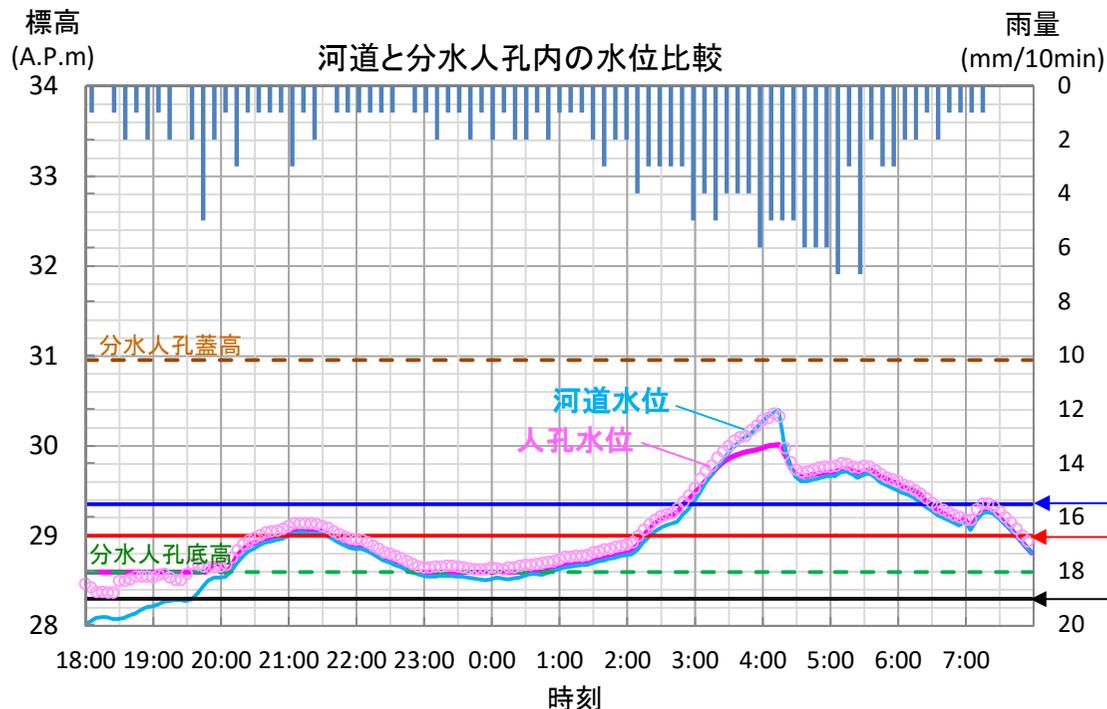
- ・河川施設も下水道施設もそれぞれの計画規模の外力に対しては達成されていないために、河川と下水道の豪雨排水計画は、独立に近い形で行われている。
- ・都市の水防災のためには、河川と下水道の整備の整合する合理的な整備手法が検討されなければならない。
- ・このためには、豪雨時の都市河川流域における河川と下水道マンホール群の水位を時間・空間的に密に測り、データの共有化により河川と下水道での水の流動状況を明らかにし、両施設の統合運用について検討を行う必要がある。－**東京都の下水道局、建設局河川部の神田川での連携した取り組み**。
- ・これらに合わせて都市施設等の配置や構造についても、水防災の視点を含めた総合的な調査検討により、水害に強いまちづくりにつなげることが望まれる。

## 6.2 東京都の連携の試み—検討対象区間（神田川6.0k～14.5）

### 神田川と桃園川幹線の合流部



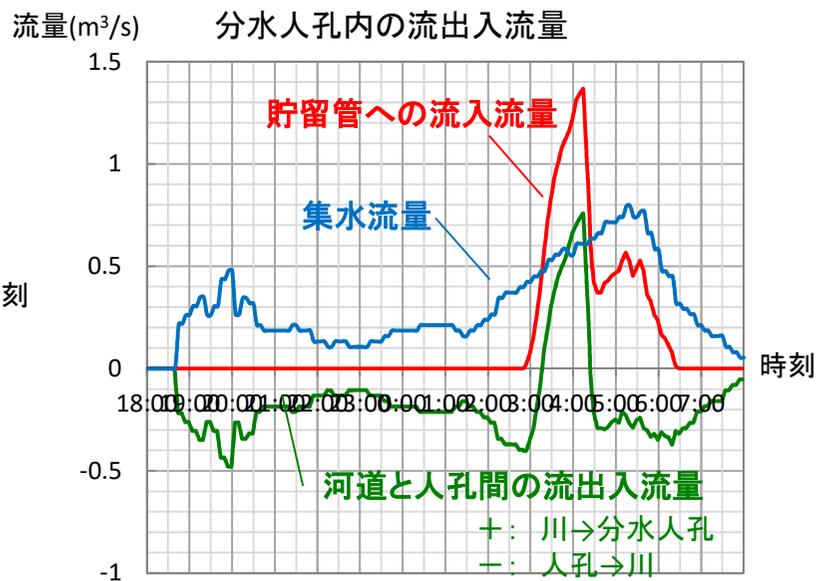
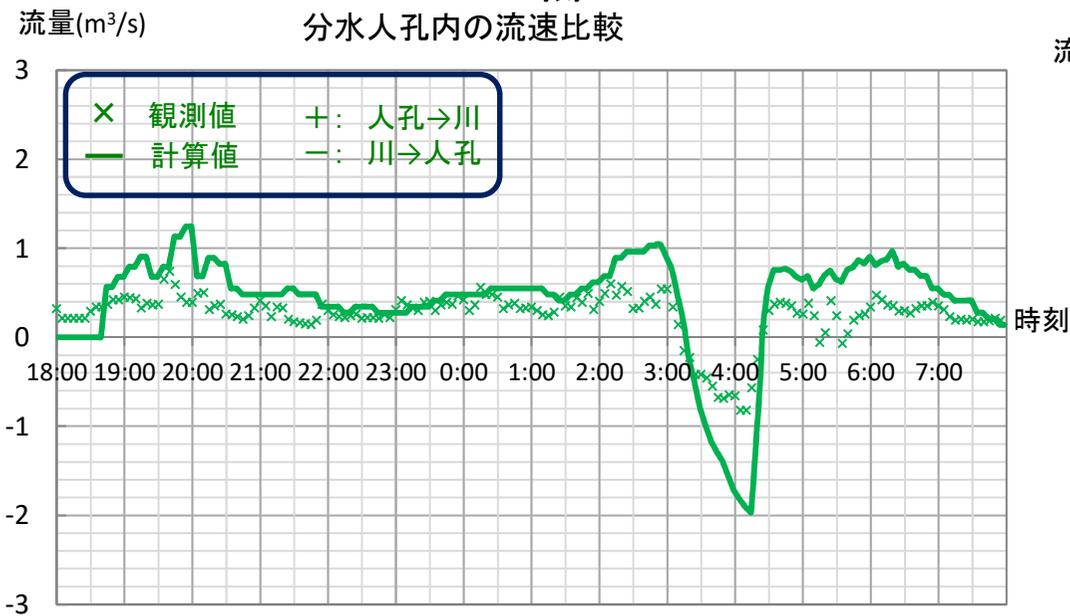
# H25年10月15日洪水の河川と下水道の水位関係(No.9)



○ 観測値  
— 計算値

河川水位と下水道マンホール水位の相対的な水位関係で両者の間の水の流・出入が決まっている—  
**一体的整備の必要性**

分水堰高  
吐口管頂高  
吐口管底高



### 6.3. 今後の課題

1. 雨天時は河川施設と下水道施設が河川水位を介して互いに影響しあうことが明らかとなり、河川と下水道が連携して流域の豪雨を統合的に排水することの有効性が明確に示された。
2. 洪水中の河川下流部における下水ポンプ排水ルールの在り方等検討し、外水、内水被害を効率的、効果的に軽減するには、相互の施設をどのように活用するのが望ましいのか等、都市の水防災を総合的視点で考える。
3. 河川・下水道、都市施設等、都市の水防災行政に関わる法律、制度は数多く、関係する技術量は膨大である。これらの法律、技術体系が今日の問題に有効に機能しているのか、都市に関わる他の法律、制度と連携によって展望が開けるのか等について検討する。

## 7. おわりに

- ・気候変動に対応する治水政策の新たなステージに向けて一水害リスク軽減への対応
- ・治水ストックの有効な活用と堤防破壊発生リスク, 氾濫リスク等を考慮した川づくり, 地域づくりを総合化した河川と流域が一体となって水害リスクを軽減する「流域総合河川計画」の展開
- ・都市の水災害の軽減のための部局間, 他分野間連携とハード技術とソフト技術の融合による新しい流域リスク管理技術の創造
- ・Innovativeで, かつ社会, 経済の変化に対応する次世代社会インフラ整備