

# 大規模洪水による高水敷化した砂州河岸の洗掘に伴う 船底形断面形の形成

後藤 勝洋<sup>1</sup>      後藤 岳久<sup>1</sup>

瀬尾 敬介<sup>2</sup>      福岡 捷二<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中央大学研究開発機構

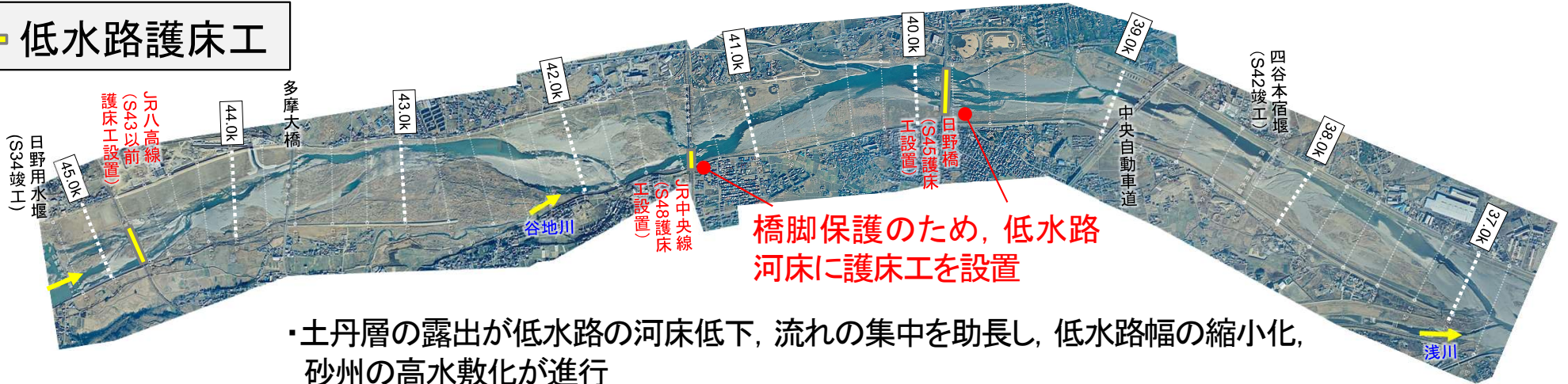
<sup>2</sup>国土交通省 関東地方整備局 京浜河川事務所

# 多摩川中流部(日野用水堰～浅川合流点)の河道の経年変化 2

昭和49年12月(昭和49年9月洪水後)

・昭和30年代の大量の砂利採取, 固定堰の建設等により, 土砂移動量が減少したため, 河床低下が進行し, 低水路河床に土丹層が露出

## 低水路護床工



橋脚保護のため, 低水路河床に護床工を設置

- ・土丹層の露出が低水路の河床低下, 流れの集中を助長し, 低水路幅の縮小化, 砂州の高水敷化が進行
- ・河道の二極化, 砂州の樹林化に伴い多摩川中流部特有の砂州河道が消失

平成11年3月



・河川横断構造物を計画的に設置・改修してきたことで, 近年, 低水路河床高の縦断形が維持され, 低水路幅の拡大とともに砂州河道が回復する傾向

令和元年11月(令和元年10月洪水後)



河床埋戻し・河道掘削・帯工群設置(H26～H28)

昭和40年代河道を目標に河道縦横断形を是正し, 帯工群で河床高を維持

堰を切下げ, 床止め工に改築

■多摩川中流部(日野用水堰～浅川合流点区間:45.2～37.0km)では, 経年的な河川改修, 大規模洪水を経て, 近年, **低水路河床高が維持されるようになり, 高水敷化した砂州河岸が洗掘され, 低水路幅の拡大とともに河道が安定しつつある.**

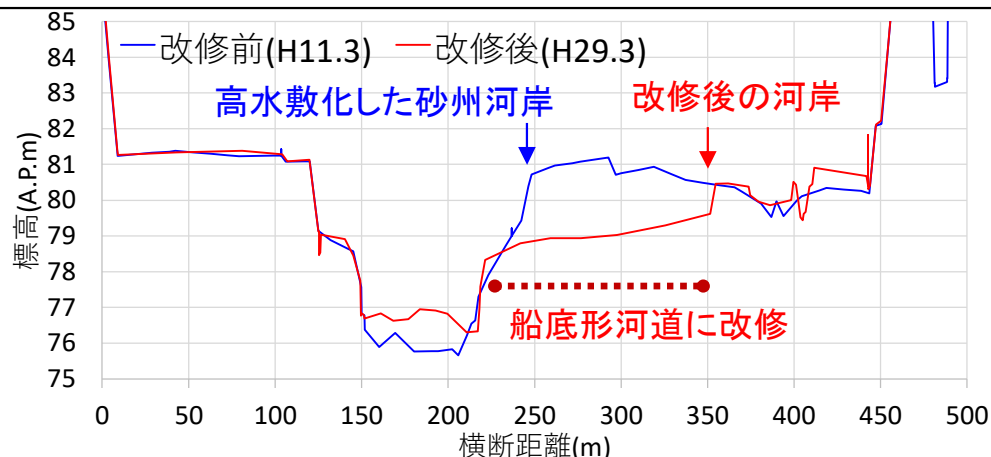
## ■本研究の目的

- ①長期にわたる河道の実測データを用いて, **低水路幅の回復に伴い河道断面形が船底形断面形に変化**することを明らかにする.
- ②令和元年10月洪水を対象とした準三次元洪水流・河床変動解析を用いて, **洪水エネルギー分布の視点から船底形断面形の形成の機構**について考察する.

船底形断面形の定義<sup>1)</sup>:

自然河川の河道形状に近い低水路と砂州を含む高水敷が緩やかに連続した河道断面形

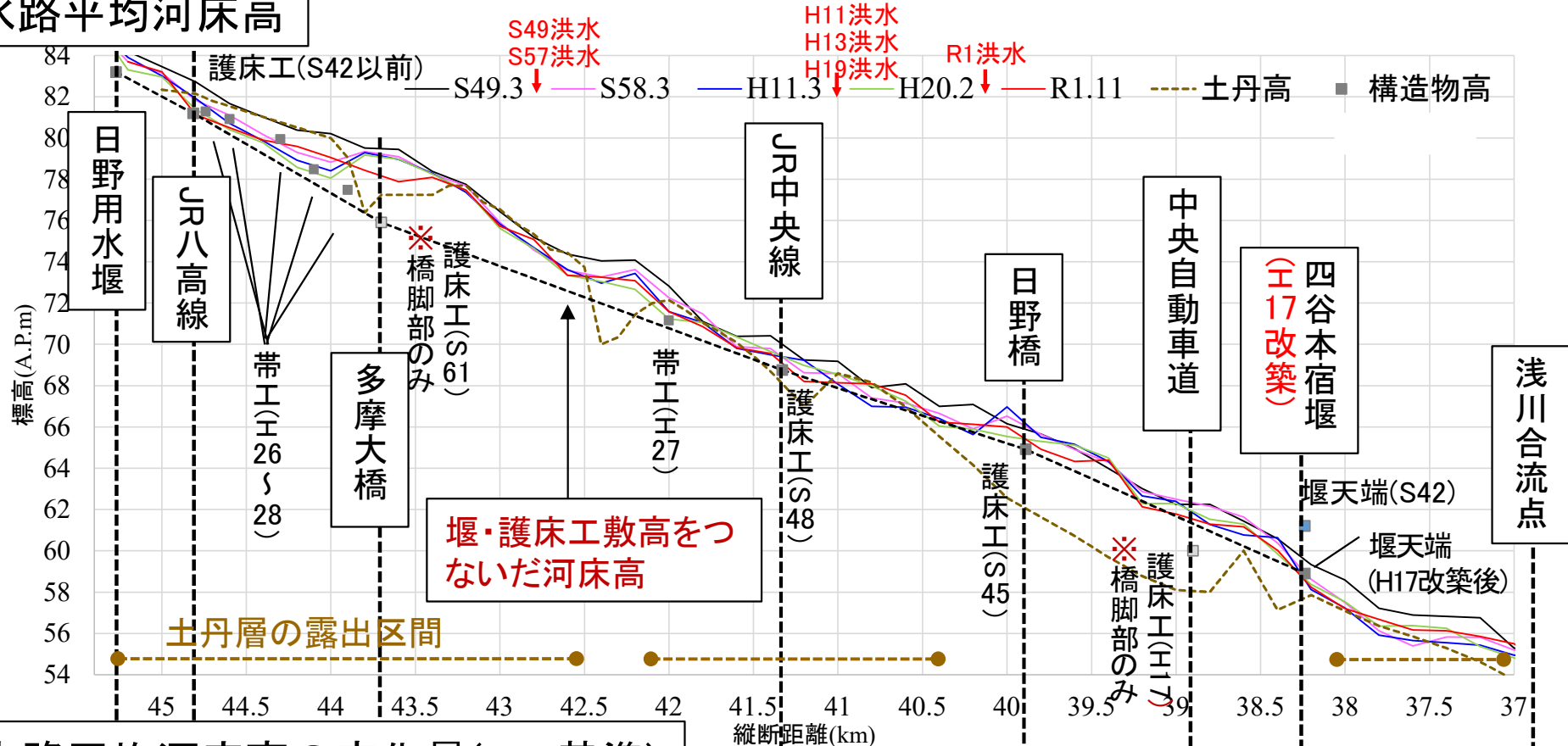
## 多摩川中流部の船底形断面形に改修された河道(43.8km断面)



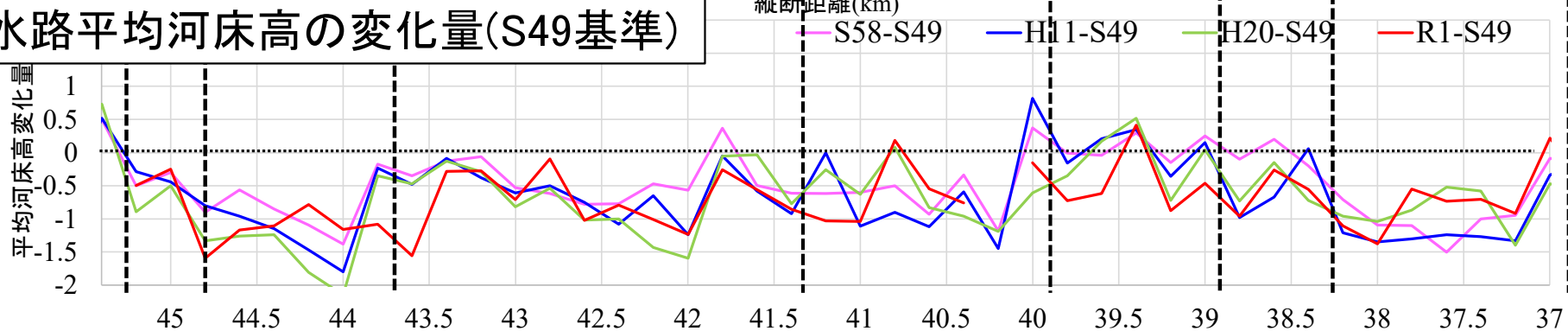
1) 福岡捷二: 温暖化に対する河川の適応技術のあり方-治水と環境の調和した多自然川づくりの普遍化に向けて, 土木学会論文集F, Vol.66, No.4, pp.471-489, 2010.

■平成11年以降、低水路河床高の縦断形が、堰や護床工等の横断構造物の敷高に規定され、維持されるようになっている。

## 低水路平均河床高



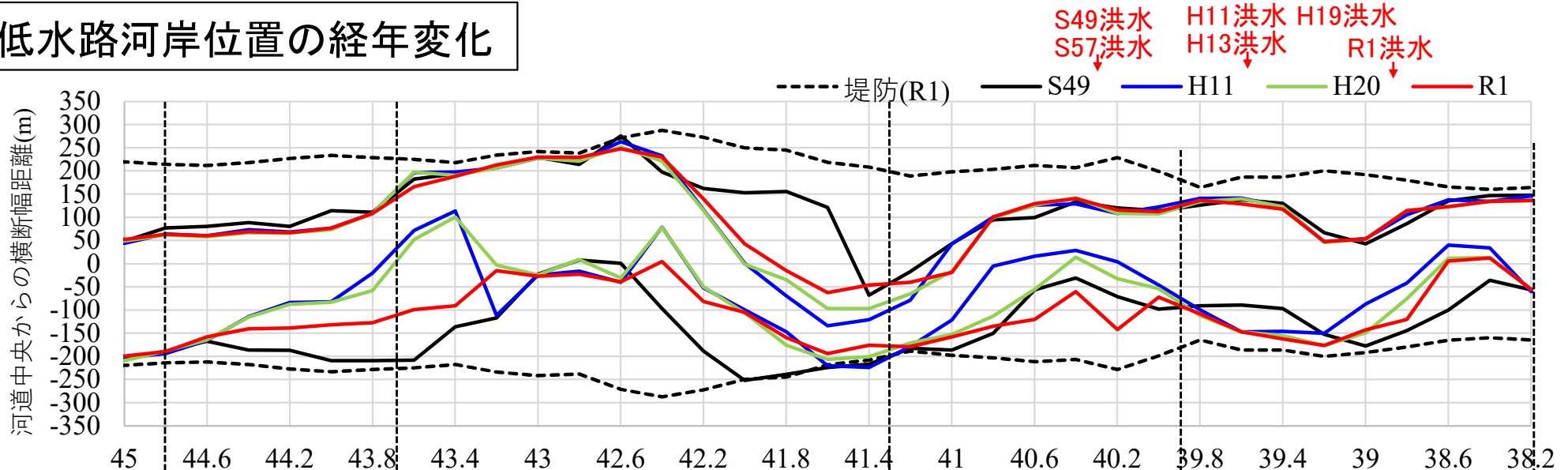
## 低水路平均河床高の変化量(S49基準)



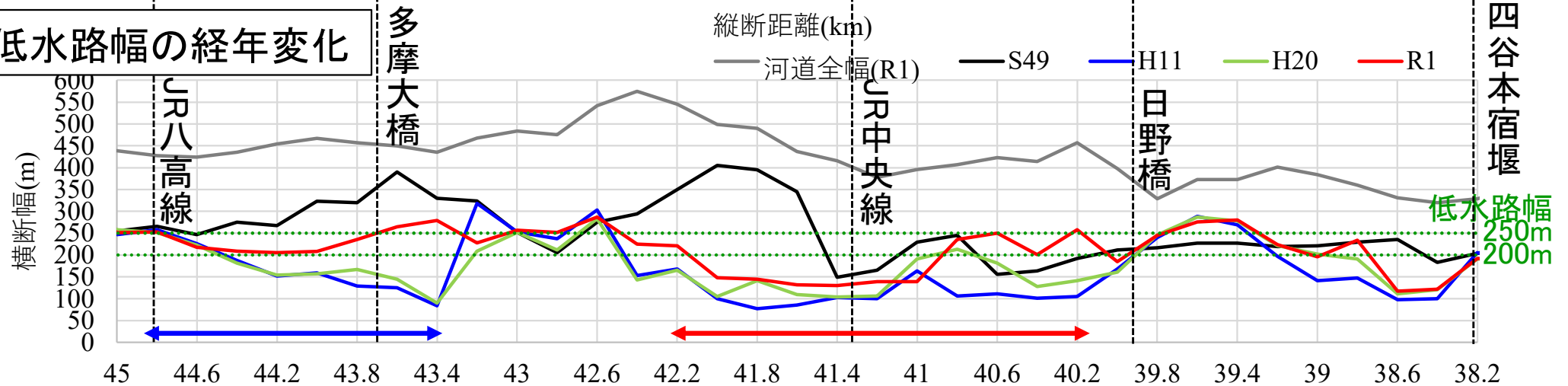
# 低水路河床高の安定に伴う低水路幅の回復

- JR中央線上下流区間(42.2~40.2km)では、**低水路河床高が維持**されるようになったことで、平成11年以降の**大規模洪水の発生に伴い低水路幅が回復**している。
- 多摩大橋周辺地区(44.8~43.4km)では、平成26~28年の河川改修により**昭和40年代の低水路幅に拡幅**されたことで、令和元年10月洪水に対して**低水路幅は維持**されている。

## 低水路河岸位置の経年変化



## 低水路幅の経年変化



河川改修(H26-28)区間

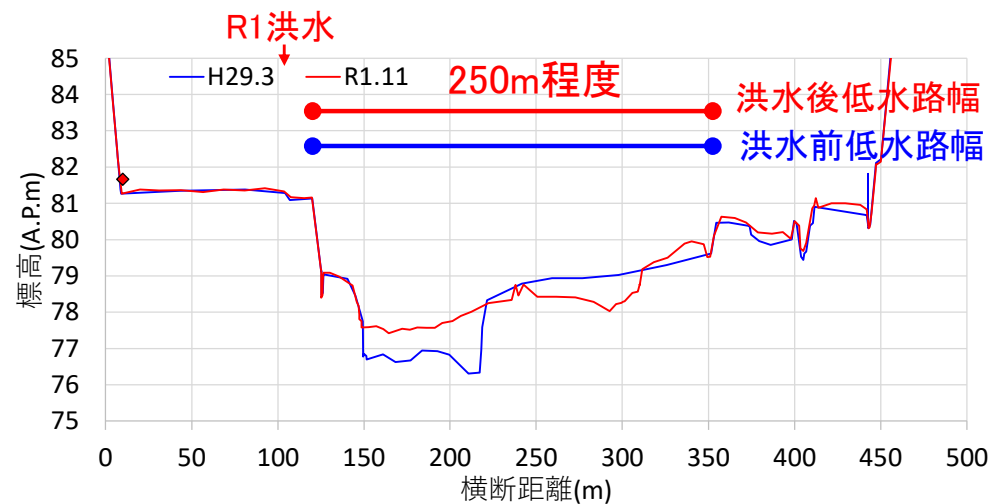
H11以降, 高水敷化した砂州河岸の洗掘が顕著

- **多摩大橋周辺地区(43.8km)**では、令和元年10月洪水に対して**低水路幅，河道断面形状(船底形断面形)は維持**されている。
- **JR中央線下流区間(40.4km)**では、河道が二極化する前の**昭和40年代の低水路幅に戻る**ように変化している。これにより、河道断面形が**船底形断面形に変化**している。

## 横断形状の変化(43.8km: 河川改修区間)



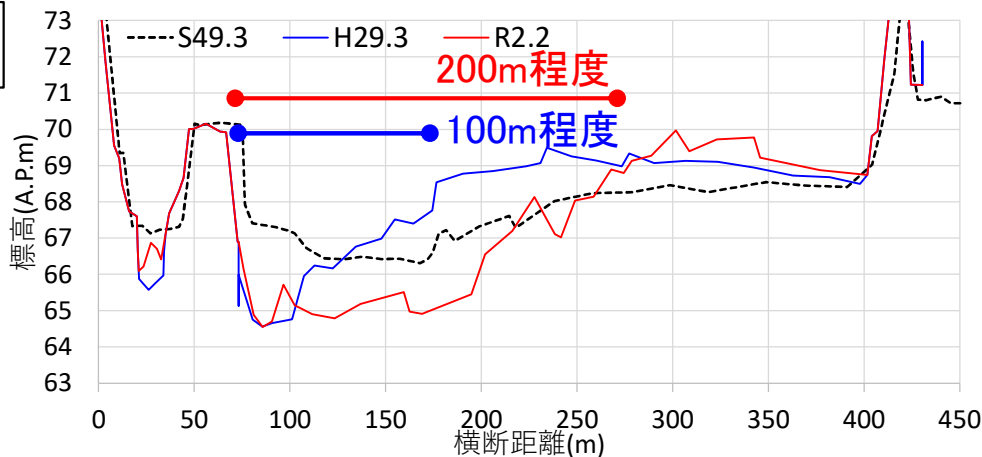
R1洪水後



## 横断形状の変化(40.4km: 砂州河岸洗掘区間)

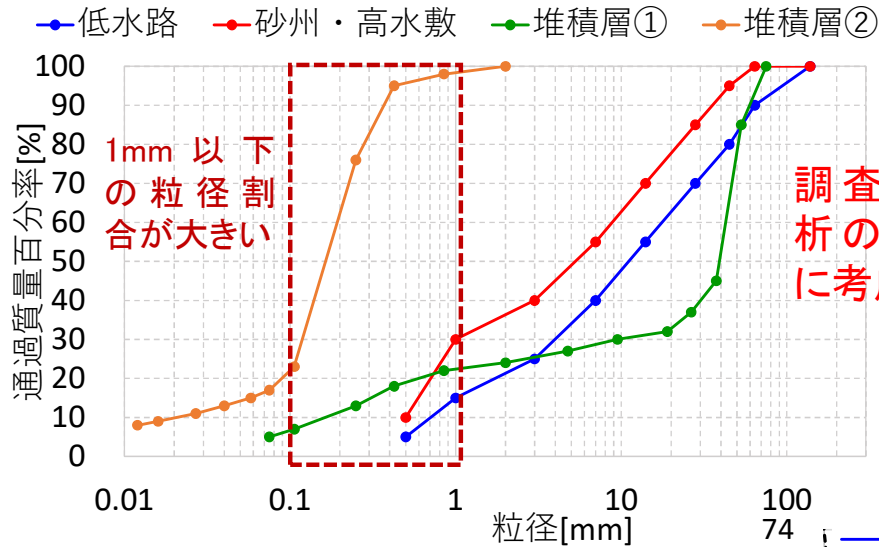


R1洪水後

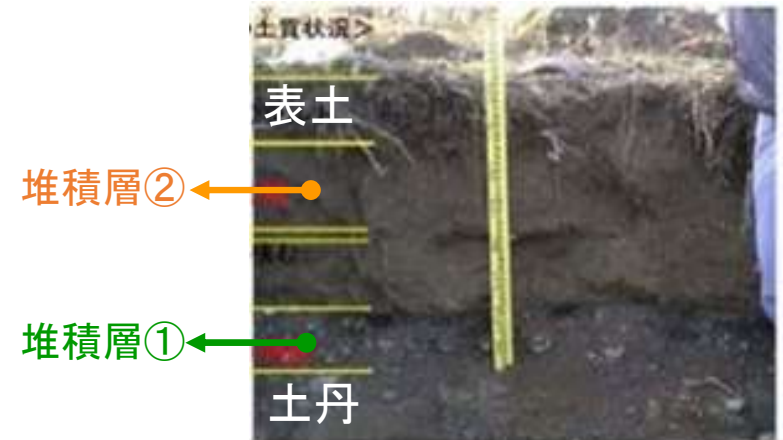


- 準三次元洪水流・河床変動解析より、**高水敷化した砂州河岸の洗掘を評価**するため、土丹層上に経年的に堆積した**細粒土層の粒度分布を考慮**する。
- 調査結果を踏まえ、低水路の粒度分布に対して、1mm以下の割合を2倍にした粒度分布を砂州(高水敷)に与えた結果、**R1洪水後の実測の船底形断面形をほぼ再現**できている。

解析に用いた粒度分布

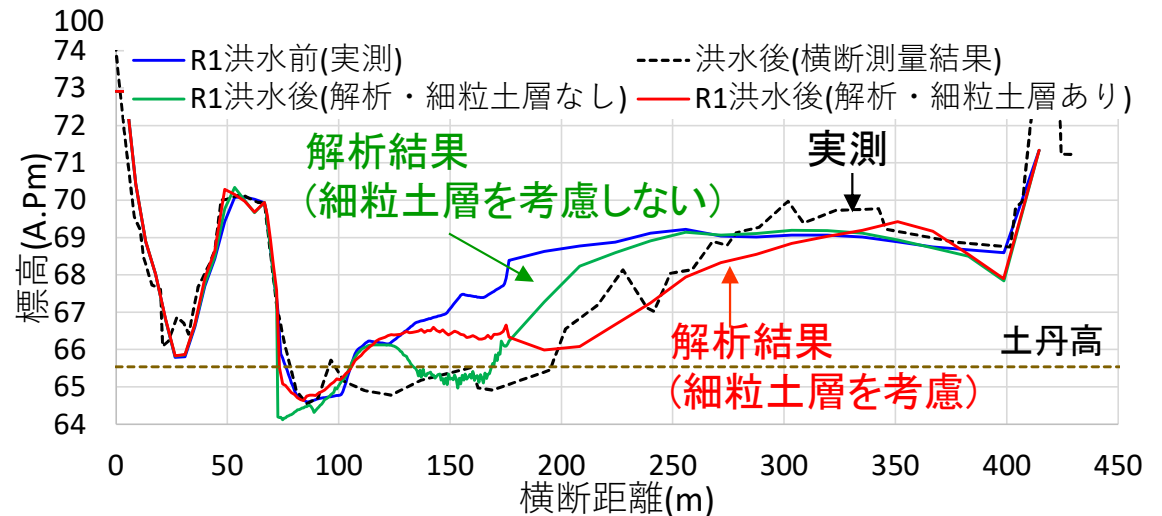


土丹上の堆積層の地質調査(42.6km付近)



調査結果を解析の粒度分布に考慮

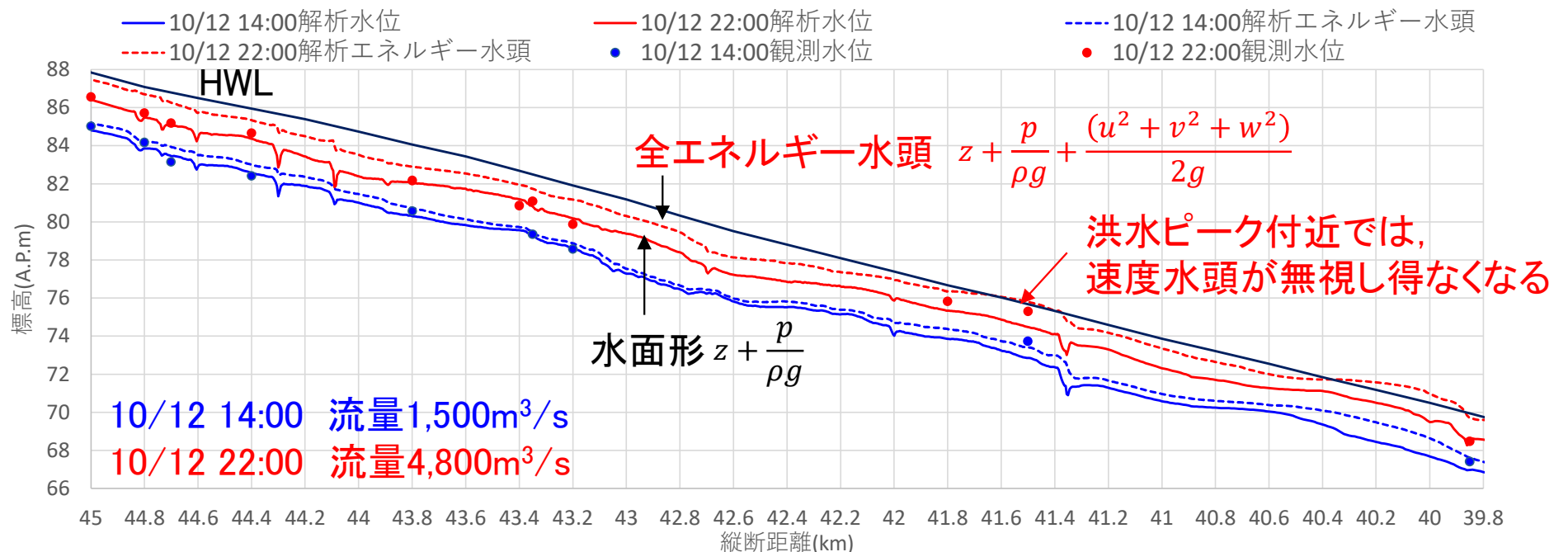
河床変動解析結果と観測結果の比較(40.4km)



- 福岡<sup>2)</sup>は、**洪水流による破壊現象**は、せん断力のような局所的な外力だけで決まるものではなく、**洪水流によって作用するすべての外力によってもたらされること**、そのため、**すべての外力を考慮した三次元エネルギー分布及びその勾配**を堤防・河道設計のための外力として考えることの重要性を論じている。
- 本稿では、非静水圧準三次元洪水流解析から求まる**水面形(位置水頭+圧力水頭)**に**速度水頭 $((u^2+v^2+w^2)/2g)$** を付加した**全エネルギー水頭**を用いて分析を行った。

2) 福岡捷二: 超過洪水時の三次元エネルギー分布に基づく河道・堤防の一体設計の考え方, 河川技術論文集, 第29巻, 2023.

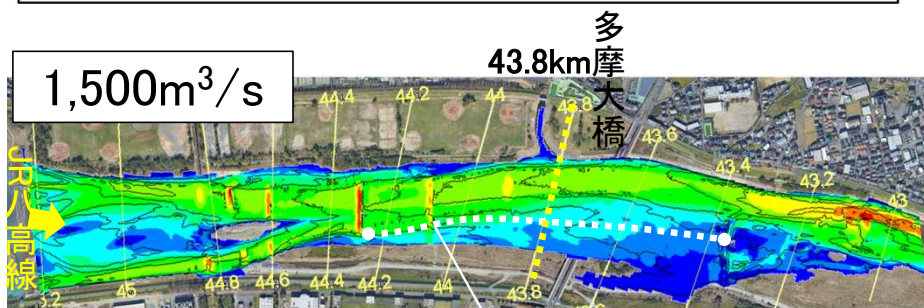
## 観測水位と解析水位・全エネルギー水頭の縦断分布(令和元年10月洪水)



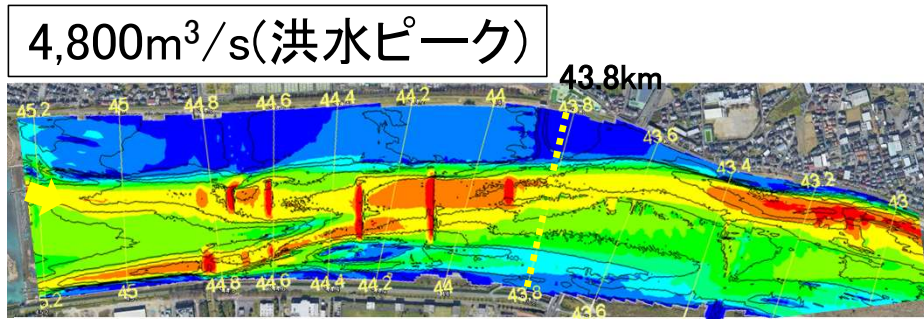
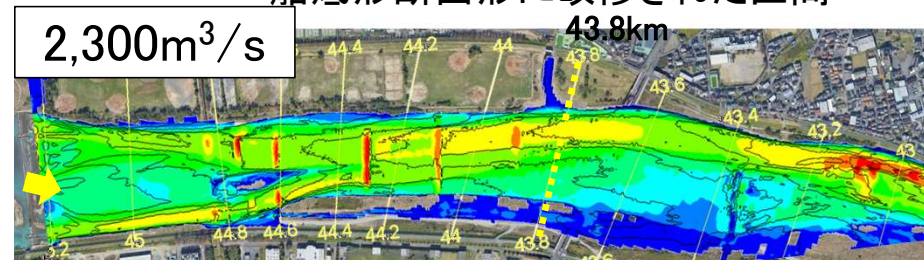


- **船底形断面形に改修された多摩大橋周辺区間(43.8km断面)**では、流量の増加に応じて、流速分布及び全エネルギー水頭の分布形が低水路と高水敷上で緩やかに連続した状態を維持している。
- これは、**船底形断面形が河道全体で洪水エネルギーを適切に分担している河道形状**であることを顕わしている。

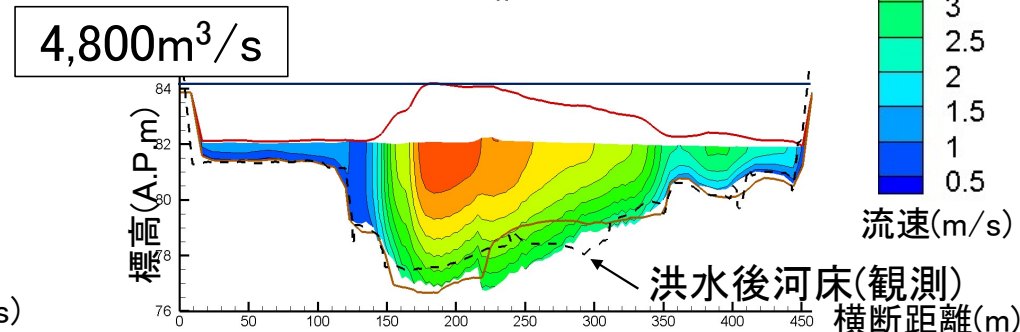
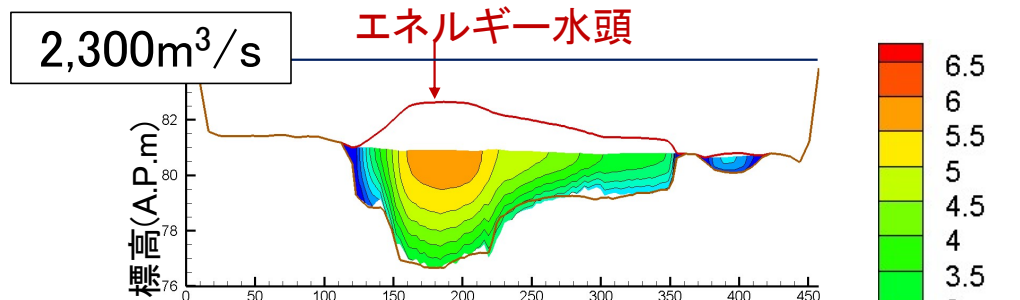
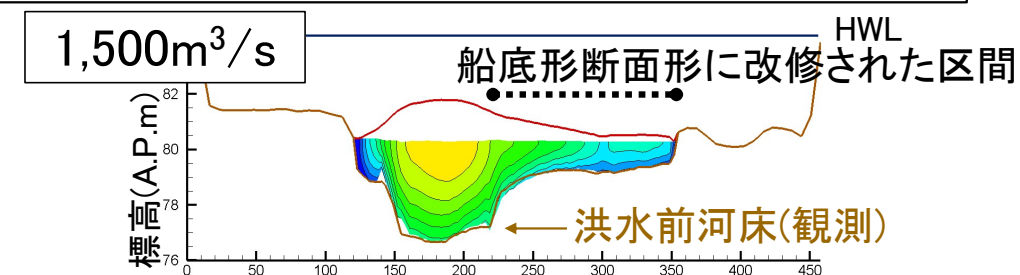
底面流速分布の時間変化(解析結果)



船底形断面形に改修された区間



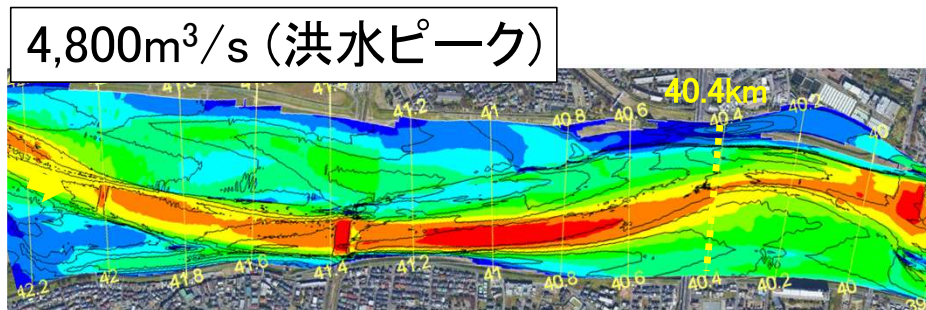
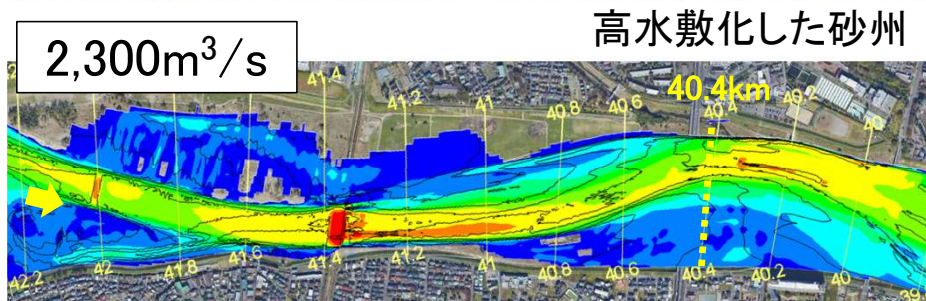
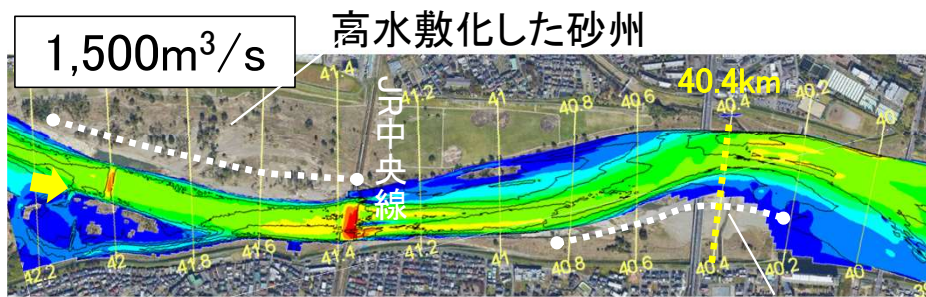
横断形状(43.8km)と横断面内流速分布, エネルギー水頭の時間変化(解析結果)



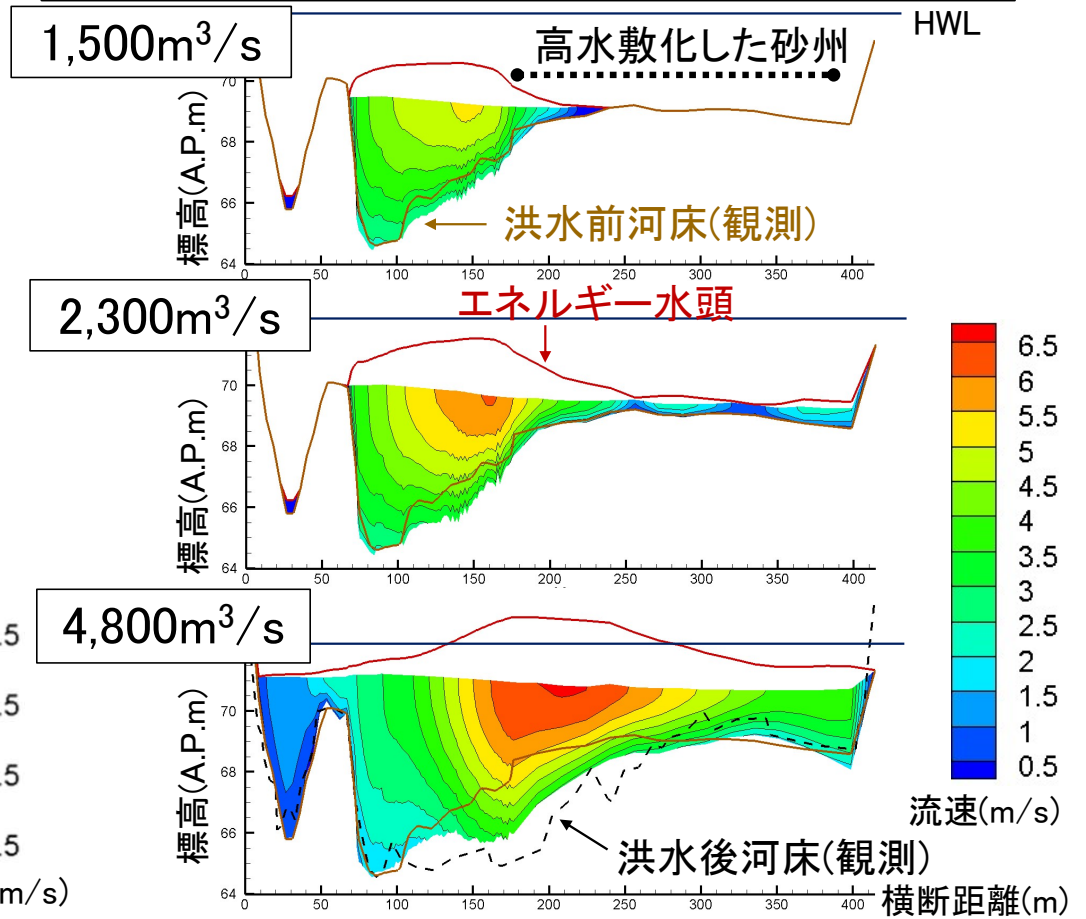
# 高水敷化した砂州河岸の顕著な洗掘が生じたJR中央線上下流区間 10

- JR中央線上下流区間(40.4km断面)では、流量が $2,000\text{m}^3/\text{s}$ 程度を超えると、高水敷化した砂州が冠水し、**高水敷化した砂州河岸が洗掘**を受け始める。この時、低水路と高水敷化した砂州上の流速差は大きいいため、全エネルギー水頭も横断的な変化が大きい。
- 洪水ピーク時には、全エネルギー水頭の分布形が横断的に緩やかとなっており、**洪水エネルギーが河道全体で適切に分担されるように高水敷化した砂州河岸の洗掘**が生じている。その結果、**低水路河床と高水敷が連続する船底形断面形に変化**している。

底面流速分布の時間変化(解析結果)

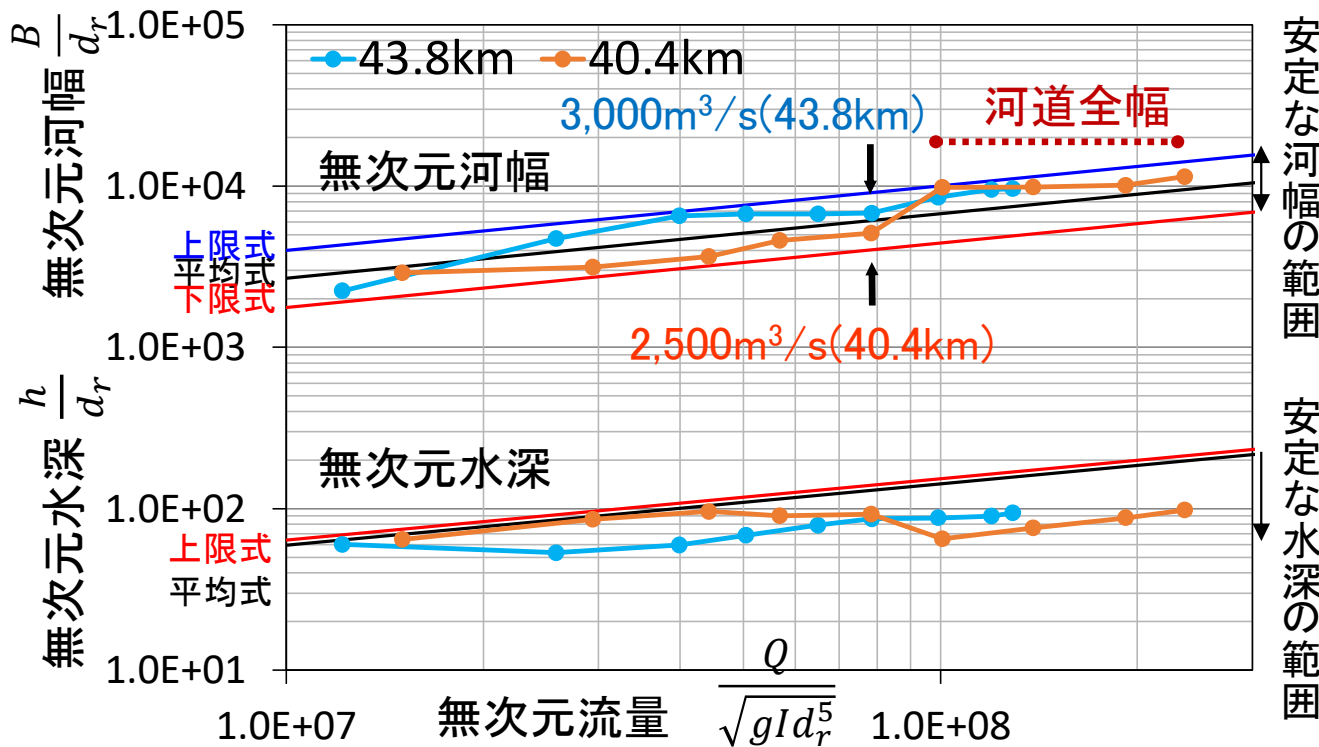


横断形状(40.4km)と横断面内流速分布, エネルギー水頭の時間変化(解析結果)



- **船底形断面形に改修された43.8km断面(青線)**では，**無次元流量の増加に応じて無次元河幅・水深が福岡の式に概ね平行するように連続的に変化しており**，洪水流量が3,000m<sup>3</sup>/s程度を超えると，水面幅は河道全幅となり，**安定河道の関係を満足している**。
- **高水敷化した砂州河岸の洗掘が生じた40.4km断面(赤線)**では，流量が2,500m<sup>3</sup>/s程度を超えると，水面幅が急増しほぼ河道全幅となり，**安定河幅の関係を満足している**。この時も高水敷化した砂州河岸は洗掘を受け，**低水路幅は拡大し続けていた**。これは，令和元年10月洪水の流量規模に達したことで，低水路幅が安定幅に拡がろうと変化した結果，**船底形断面形を形成したと考えられる**。

無次元流量-無次元河幅・水深の関係(福岡の式<sup>1)</sup>)



**【無次元河幅】**

上限曲線式  $\frac{B}{d_r} = 6.33 \left( \frac{Q}{\sqrt{g I d_r^5}} \right)^{0.40}$

全体平均曲線式  $\frac{B}{d_r} = 4.25 \left( \frac{Q}{\sqrt{g I d_r^5}} \right)^{0.40}$

下限曲線式  $\frac{B}{d_r} = 2.80 \left( \frac{Q}{\sqrt{g I d_r^5}} \right)^{0.40}$

**【無次元水深】**

全体平均曲線式  $\frac{h}{d_r} = 0.13 \left( \frac{Q}{\sqrt{g I d_r^5}} \right)^{0.38}$

上限曲線式  $\frac{h}{d_r} = 0.14 \left( \frac{Q}{\sqrt{g I d_r^5}} \right)^{0.38}$

Q: 河道形成流量, B: 河幅, h: 水深, I: 勾配, d<sub>r</sub>: 代表粒径(=d<sub>60</sub>), g: 重力加速度

1) 福岡捷二: 温暖化に対する河川の適応技術のあり方-治水と環境の調和した多自然川づくりの普遍化に向けて, 土木学会論文集F, Vol.66, No.4, pp.471-489, 2010.

- 多摩川中流部のJR中央線上下流区間では、**低水路河床高の縦断形が維持**されるようになったことで、**大規模洪水によって高水敷化した砂州河岸の洗掘**が促され、河道が二極化する前の**昭和40年代の低水路幅に戻りつつあり**、それに伴い、自然河川に近い河道断面形である**船底形断面形に変化**している。
- 当該区間では、河道全幅での無次元流量と無次元水面幅の関係は安定河道の関係を満足し、この時、**洪水エネルギーが河道全体で適切に分担されるように高水敷化した砂州河岸が洗掘**され、その結果、低水路河床と高水敷(砂州)が連続する船底形断面形に変化している。
- 船底形断面形に改修された多摩大橋周辺地区では、洪水流量に応じて、洪水エネルギーが緩やかな分布形となっており、洪水エネルギーが低水路と高水敷で適切に分担される状態が保たれている。
- このような実測データに基づく河道の長期的な変化と高精度な準三次元洪水流・河床変動解析法による大規模洪水時の河道縦横断形の変化、それに伴う洪水流のエネルギー分布を用いて河道縦横断形を評価することは、**船底形断面形を基本とした新たな河道設計、維持管理のための重要な情報**を与える。