

# 利根川下流部における改修による河道縦横断面形の経年変化と治水効果の研究

The changes in cross-sections and effectiveness of the river improvement works in the Lower Tone River

土木工学専攻 7号 岩谷 直貴

Naoki IWAYA

## 1. はじめに

利根川下流部では大規模な洪水の発生に伴って、河道改修のための浚渫・拡幅が行われてきた。また骨材の需要による砂利採取も行われ、縦横断的、平面的に河道が変化し、現在に至っている。この間に、河道では流下能力が向上する一方で、湾曲部内岸での土砂の堆積や河岸際で深掘れが数多く発生するなどの問題も顕在化した。現在の河道においても、未だ整備途上であり、引き続き改修工事が必要である。そのためには、過去の改修工事がどのような経緯で行われ、改修の効果はどうであったのかを明らかにし、今後の河川改修につなげることが重要である。本研究では、これまでの洪水履歴と災害の関係を調べ、河道の流下能力を高めるために行われてきた河道改修と現在の河道断面が形成されてきた経緯を明らかにするとともに、これまで行われてきた河道改修の効果を力学的に説明し、過去の河道改修は適切であったのかどうか検討する。

## 2. 改修工事と河道断面変化の関係

対象区間は、図-1 に示す利根川下流部の 85.5km~0.0km であり、黄丸は水位観測所を示す。図-2, 3 はそれぞれ対象洪水のピーク時水位・低水路平均河床高縦断面図、低水路幅・堤間幅縦断面図を示す。図-4 は、取手(85.5km)・布川(76.5km)の年最大流量を示す。図-4 の破線は、各観測所の各年代の計画高水流量を記す。検討対象洪水は、H19.9 洪水を除き、各改修工事前に発生した当時の計画高水流量に匹敵する洪水を示している。各洪水は、流量規模が異なるため、同規模程度の S34.8 洪水と S47.9 洪水の 2 洪

水(6,000<sup>3</sup>/s 程度)、S57.9 洪水、H10.9 洪水そして H19.9 洪水の 3 洪水(8,000<sup>3</sup>/s 程度)に分け、500m 間隔の横断面測量データと痕跡水位・観測水位から求めた河積(図-5)、摩擦速度(図-6)、相対水深  $D_r$  (高水敷水深/低水路全水深)(図-8)を用いて河道改修の各段階と河道断面変化の関係を水理学的に検討する。

S36 年から S55 年の間では、S40 年代の利根川上流部における砂防工事やダム等の整備の進行によって土砂供給量が徐々に減少した影響<sup>1)</sup>と 40km 上流部において浚渫が行われてきたことにより、顕著な河床低下が生じている(図-2)。18.5km~40km 区間においては低水路の拡幅が行われている(図-3)。そのため、20km より上流において、S47.9 洪水は S34.8 洪水に比べ、ピーク時の水位が低い(図-2)。図-5, 6 は、各洪水ピーク時の河積と摩擦速度の縦断面図を示す。S34.8 洪水時には、20km 上下流部の間に河積の差が生じていた。しかし、その後の 18.5km~40km 区間の拡幅による河積の増大によって、S47.9 洪水時の河積縦断面分布は 40km より下流において、ほぼ一定となった。18.5km 下流部において S36 年以前は、堆積が顕著であったと報告されている<sup>2)</sup>が、河積差の解消に

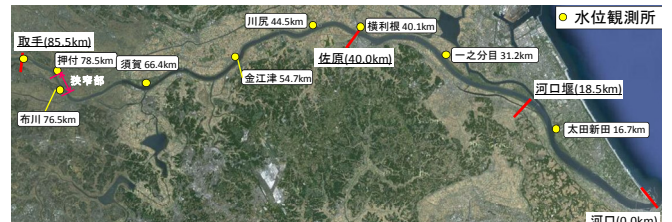


図-1 対象区間 (85.5km~0.0km)

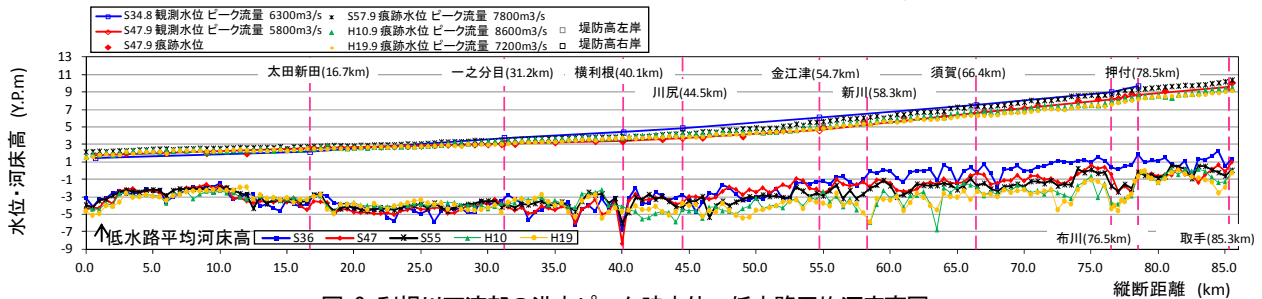


図-2 利根川下流部の洪水ピーク時水位・低水路平均河床高図

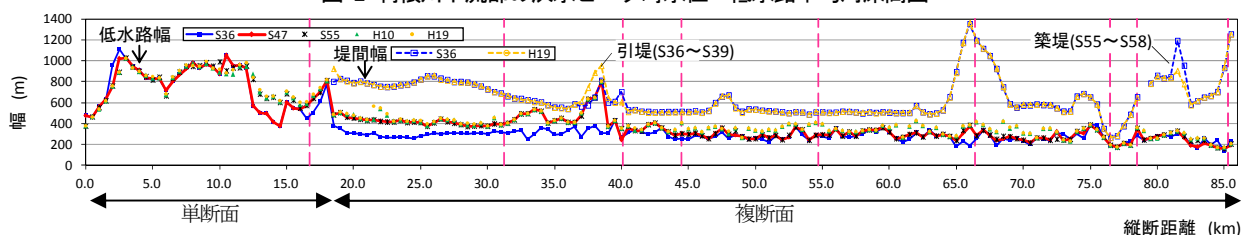


図-3 利根川下流部の低水路幅・堤間幅縦断面図

よって摩擦速度が縦断的にほぼ同じ値をとるようになり、その結果、土砂移動量が縦断的にほぼ一様となったことで、図-2に示すようにS36年以降では堆積傾向が解消したと考えられる。一方、40kmを境とする上下流では、S36年当時に比して、低水路幅の差が拡大し、S47.9洪水時に、河積の変化が増大している。そのため、摩擦速度が40km下流部に比べ、上流部の方が大きくなり、S47年以降、18.5km~40km区間では河床上昇が生じたと考えられる(図-2)。

S55年からH10年の間では、40kmより上流部において、浚渫により、河床低下が生じ、低水路幅が広がっている。H10年以降では、40kmより上流での河床高と低水路幅の変化は比較的小さい(図-2, 3)。そのため、40km上流部においてH10.9洪水のピーク時水位はS57.9洪水より低く、H19.9洪水時とほぼ同じとなっている(図-2)。40km上流部の拡幅により、40km上下流部における低水路幅の差が解消され、H10.9洪水以降の河積縦断図は、一部の区間を除き全体的にほぼ一定となっている。そのため、H10.9洪水以降の摩擦速度の縦断分布は以前の洪水時に比べ、縦断的になめらかに分布している。図-7に示す最深河床高縦断図から40kmより上流ではS55年以降、深掘れが生じている。この原因は以下のように考えられる。図-8は各洪水ピーク時の相対水深Drの縦断図を示す。ここで、相対水深は、低水路全水深と高水敷水深の比を表す。40kmより上流では、改修工事による河道変化に伴い、相対水深Drは経年的に小さくなり、H10.9洪水以降では、 $Dr=0.3$ 付近に分布するようになり、単断面的流れが支配的となることがわかる<sup>3)</sup>。また拡幅により低水路幅/堤間幅の値が大きくなり、河道断面は、より単断面河道に近くなった(図-3)。そのため、高水敷の抵抗

の影響が小さくなり、同じ大きさの摩擦速度に対する流砂量は増加し<sup>4)</sup>、河道湾曲部で深掘れが生じたと考えられる。

76.5kmの布川狭窄部では、両沿岸部において人家が密集しており、引堤による流下能力確保が困難であった。S41年以降、狭窄部の河床高が当時の計画河床高よりも下回ったため、狭窄部での砂利採取は禁止となった。しかし、布川狭窄部では、洗掘が進行し、深掘れが生じている(図-2)。これを説明するため、S55年からS58年の間に狭窄部において大幅に河床低下したS56.8、S57.8、S57.9、S58.8、S58.9洪水の計5洪水を対象に、各時間の観測水面形を解とし、浚渫・拡幅工事を取り込んだ河床変動解析を行った。

浚渫・拡幅工事の取り込み方法としては、各年の浚渫土砂量及び洪水前後の測量結果に基づいて、5洪水の洪水流・河床変動解析の結果が各時間の観測水面形と実測の洪水後の河床形状に合うように解析を行い、浚渫範囲・深さ、拡幅幅を推定した。

図-9, 10は、実測値と解析値の各ピーク水位と5洪水前後の低水路平均河床高・最深河床高を示す。解析結果は、実測値の水位そして洪水後の河床高を十分に説明している。図-11は、S55年からS58年までの布川狭窄部周辺の河床変動量コンターを示す。洪水を受ける度に、布川狭窄部では洗掘が生じ、狭窄部下流部では堆積が生

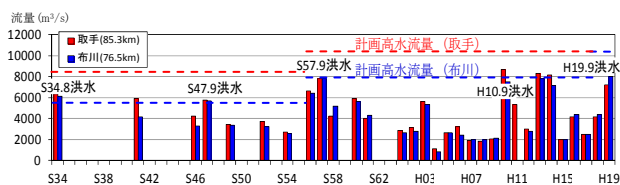


図-4 年最大流量

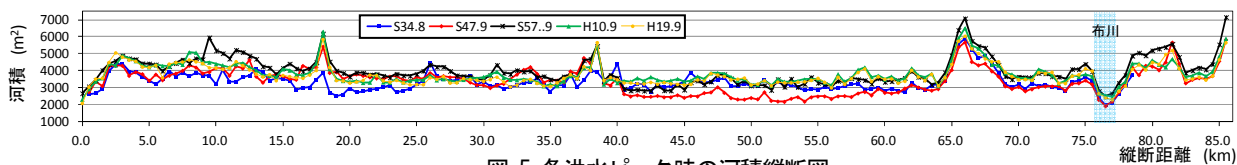


図-5 各洪水ピーク時の河積縦断図

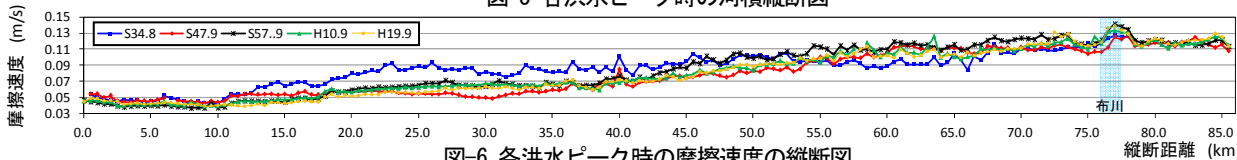


図-6 各洪水ピーク時の摩擦速度の縦断図

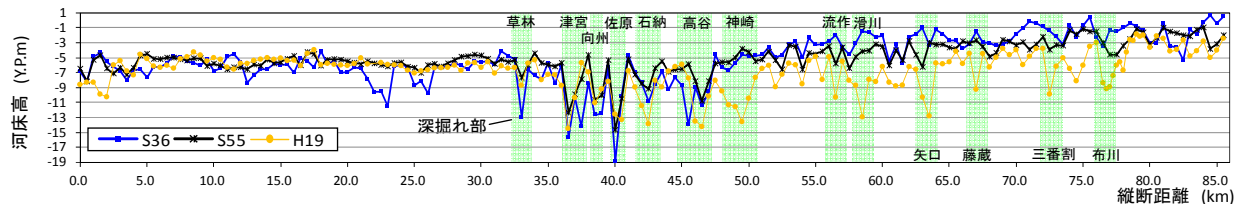


図-7 利根川下流部の最深河床高縦断図

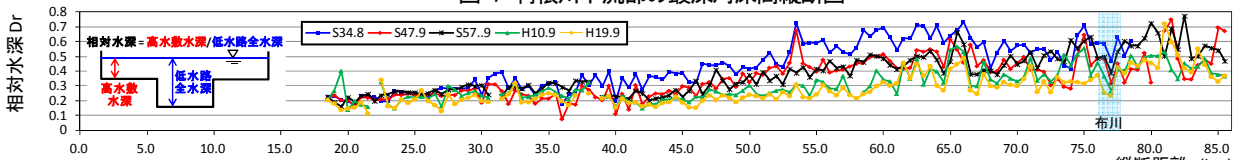


図-8 各洪水ピーク時の相対水深Drの縦断図

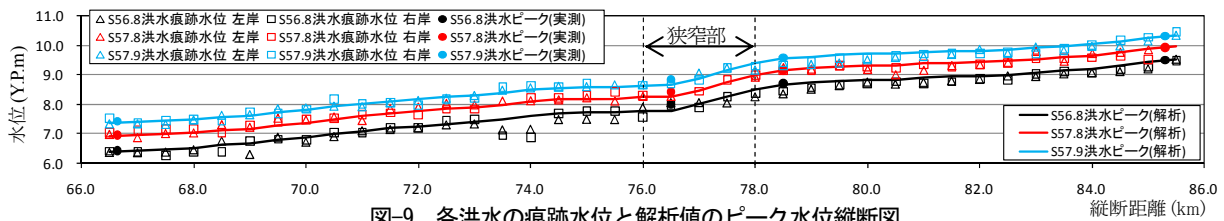


図-9 各洪水の痕跡水位と解析値のピーク水位縦断面

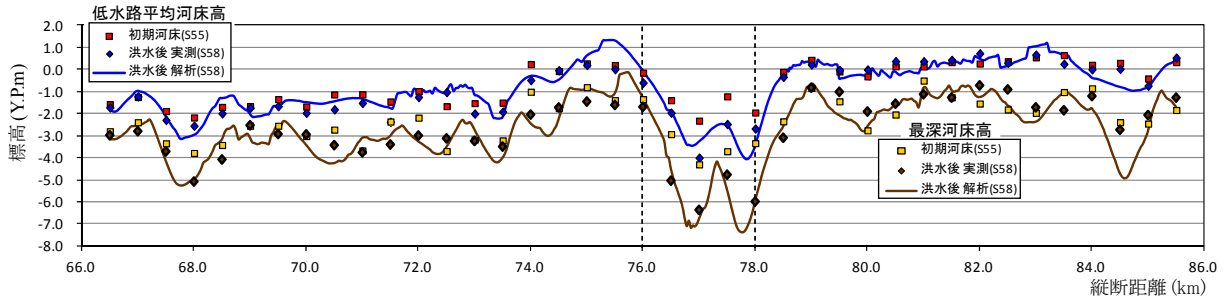


図-10 実測値と解析値の低水路平均河床高・最深河床高縦断面図

じている。各年において狭窄部出口付近では、土砂の堆積した箇所を中心に浚渫が行われ、洪水後には埋め戻しが生じている。布川狭窄部河道を例に、洪水流と浚渫・拡幅工事を繰り返し受けながら変化して来た過程を示し、河床変動の力学的な把握が可能なことを示した。

### 3. 改修前後の無次元ピーク流量と無次元河幅・水深の関係からみた改修効果の把握

S55年までの利根川の治水計画は、その時々々の既往最大流量で作られていた。対象とした5つの洪水のうちH19.9洪水を除く洪水の流量は、その当時の既往最大流量よりも大きかったことから、この流量を河道形成流量とする大きな河道災害が生じた。再度災害を防止するため、河道形成流量を計画高水流量とする川幅、水深となる河道断面の改修が繰り返し行われてきた。

福岡は、治水上、環境上望ましい河道断面は、式(1)、(2)に示す無次元河道形成流量に対する無次元河幅と無次元水深の関係で表現できることを示している<sup>5)</sup>。

$$2.80 \left( \frac{Q}{\sqrt{g} d_r^3} \right)^{0.40} \leq \frac{B}{d_r} \leq 6.33 \left( \frac{Q}{\sqrt{g} d_r^3} \right)^{0.40} \quad (1) \quad \frac{h}{d_r} \leq 0.14 \left( \frac{Q}{\sqrt{g} d_r^3} \right)^{0.38} \quad (2)$$

図-12は、利根川下流各地点における改修工事前後の無次元形成流量と無次元河幅・水深の関係を示す。ここで、 $Q$ ：河道形成流量、 $B$ ：水面幅、 $h$ ：断面平均水深、 $I$ ：水面勾配、 $d_r$ ：代表粒径(=  $d_{60}$ )、 $g$ ：重力加速度である。

利根川下流部の河道断面は、図-3に示すように18.5kmより上流部において、複断面形であり、各洪水のピーク水位は高水敷高よりも高いため、水面幅は堤間幅となっている。一部の区間を除き、引堤工事は行われていないため、無次元流量の増加に伴っても、無次元河幅はほとんど変化せず、平均式に集中している。しかし、無次元水深は平均式よりも下に分布している。上下流部に比べ、堤間幅が広い取手(85.3km)と須賀(66.4km)では、無次元河幅は上限式よりも大きく、他の区間よりも主要な洪水に対して河幅が広いことがわかる。そのため、特に取手

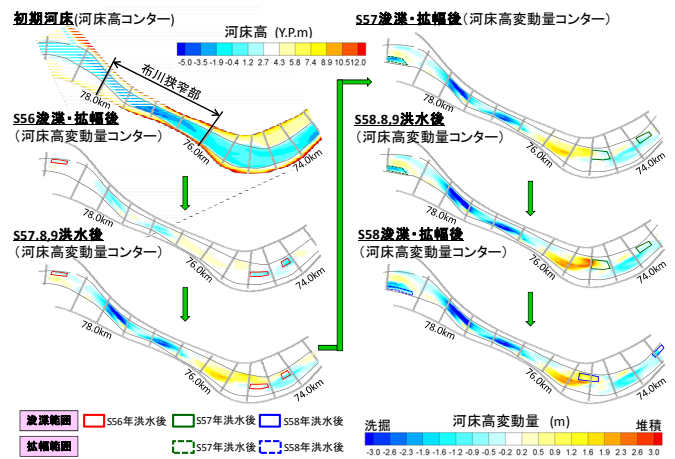


図-11 S55年からS58年までの布川狭窄部周辺の河床変動量コンター

(85.3km)付近では改修工事による低水路の拡幅は行われなかった(図-3)。狭窄部に位置する布川(76.5km)では、無次元河幅は下限式よりも小さく、無次元水深は上限式以上である。狭窄部では、引堤工事が行われなかった結果、無次元ピーク流量の増加に伴って、それぞれの平均式に対して、無次元河幅は小さくなり、無次元水深は大きくなった。それに加え、狭窄部上下流の浚渫による河床低下が影響し、布川狭窄部の経年的な河床低下となっている。しかし、H10年以降では、規模の比較的大きい洪水が発生しているにもかかわらず、河床低下はほとんど進行していない。その理由として、図-13の76.5km地点におけるH22年のボーリング調査による地質横断面図に示ように、H10年以降の河床表面が沖積層に比べ侵食されにくい洪積砂質層で覆われているためである。

次に改修工事が行われた区間について検討する。単断面河道である18.5km下流部において、S36年より前の太田新田(16.7km)の無次元河幅は上限式を上回り、無次元流量の関係からも、河幅が著しく広いために、土砂堆積が顕著であったことがわかる。S36年までには、堆積した

箇所において浚渫が行われ、その土砂を用いて、高水敷造成を行った。その結果、低水路幅は狭くなり、S36年以降では、無次元河幅は上限値よりも小さくなり、これまで起こった流量に対しては、適切な河幅となった。18.5km上流部では、各区分において、低水路の拡幅や浚渫が行われてきた。無次元ピーク流量に対する無次元河幅・水深の関係では、無次元ピーク流量の増加に伴っても、無次元河幅は、ほとんど変化していない。それにもかかわらず、無次元水深は、平均式から下にある一定以上離れている。これは、低水路の拡幅・浚渫工事による水位低下、つまり、低水路の流下能力が向上したためと考えられる。そのため、無次元河幅は、平均式に集中している一方、無次元水深は、平均式よりも小さくなっている。このことから、利根川下流部では、再度災害を防ぐために、既往最大流量に比するよう、低水路の拡幅・浚渫工事が繰り返し行われた結果、各段階の目標とする流量に対し、比較的余裕のある河道断面へと変化してきた。しかし、想定される利根川下流部の整備計画流量は、**図-4**に示すようにH19.9洪水の流量規模よりも大きい。そのため、無次元河幅は、現在よりも下限式に近付き、必ずしも余裕のある河幅でなくなることが想定される。そのことに対し、今後どのように河道改修を進めていくべきか、**図-12**に示した無次元量間の関係等を用いて、河道改修の方法について十分検討し、合理的な治水計画とすることが重要である。

#### 4. 結論

- 1) S36年からS55年では、18.5kmから40km区間の低水路の拡幅は、河積と摩擦速度の縦断分布を変化させた。その結果、18.5km下流部では堆積傾向が解消され、一方、18.5kmから40km区間では、河床上昇が経年的に生じた。
- 2) S55年以降では、40km上流部において浚渫と拡幅により、相対水深が低下し、堤間幅に対する低水路幅の割合が増大した。そのため、低水路流れの影響が相対的に強まったことから、同じ大きさの摩擦速度に対する流砂量は増加し、深掘れが生じた。
- 3) S55年からS58年に発生した5洪水を対象に、浚渫・拡幅工事を取り込んだ河床変動解析により、布川狭窄部の河床低下機構について説明した。この解析法の適用により、洪水流による河床変動、浚渫・拡幅工事による河道変化を繰り返し受けることにより、河道の変化過程を力学的に把握できることを示した。
- 4) 利根川下流部では、既往最大流量の洪水が発生する度に、その洪水に対応するよう、河道改修が行われた。その結果、無次元河道形成流量に対する無次元河幅、水深の関係より、各段階の計画高水流量に対して、比較的余裕のある河道断面へと変遷してきたことを示した。低水路の改修工事では、無次元河道形成流量の増加に伴っても、無次元河幅は、ほとんど変化し

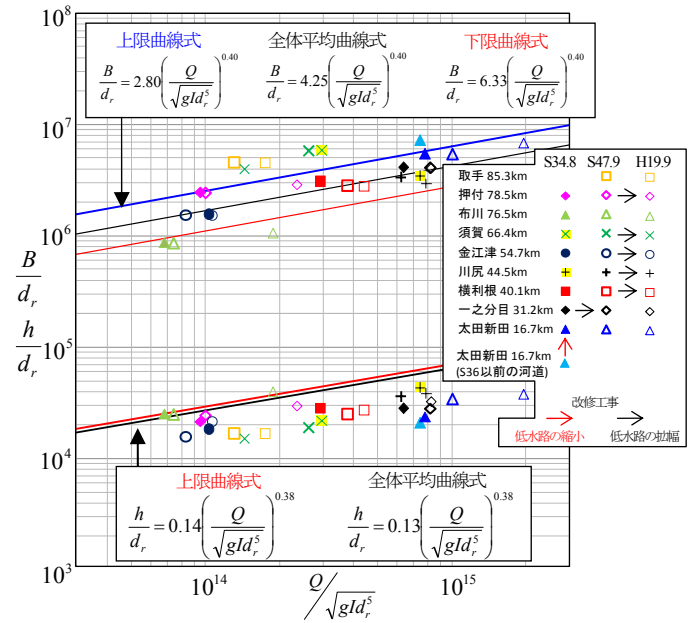


図-12 改修工事前後の無次元量の関係

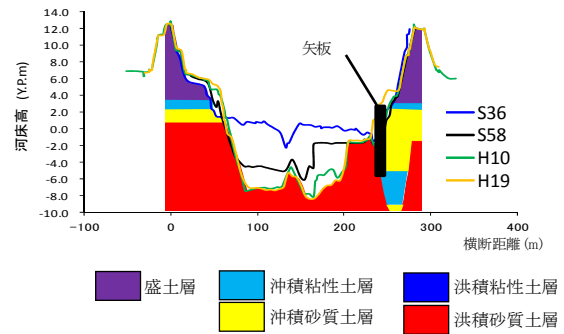


図-13 76.5km地点の地質横断面図

ないため、無次元水深が平均式に対し、どのように変化したか着目することで河道改修の効果を見ることができる。

- 5) 改修が行なわれなかった布川狭窄部では、無次元河道形成流量の増加に対し、無次元河幅は必要幅より狭い上、狭窄部上下流の浚渫による河床低下によって、洗掘が進行し深掘れが生じた。しかしH10年以降は、河床表層に露出した耐洗掘性の洪積層により、河床高を維持していることが明らかになった。

#### 参考文献

- 1) 白井勝二, 福岡捷二: 明治以来の利根川改修による河道の変化とその要因の水工学分析, 河川技術論文集, Vol.12, pp.217-222, 2006.
- 2) 茂呂康治, 風間聡, 福岡捷二: 利根川下流部河道改修の変遷と浚渫の効果, 河川技術論文集, Vol.17, pp.101-106, 2011.
- 3) 福岡捷二: 洪水の水理と河道の設計法, 森北出版, 2005.
- 4) 岡田将治, 福岡捷二: 複断面河道における洪水流特性と流砂量・河床変動の研究, 土木学会論文集, No754/II-66, pp.19-31, 2004.
- 5) 福岡捷二, 坂口達哉: 無次元流量に対する無次元河幅・水深の範囲と整備途上河川への適用, 水工学論文集, 第56巻, pp.I\_1423-I1428, 2012.