利根川下流域における 洪水の非定常性を考慮した河道掘削計画 RIVER CHANNEL EXCAVATION PLAN AT DOWNSTREAM IN TONE RIVER CONSIDERING UNSTEADY FLOOD FLOW

川島文夫1・田所百年裕2・梅田佳宏3・郷原龍二1・岡村誠司4 Fumio KAWASHIMA, Motohiro TADOKORO, Yoshihiro UMEDA, Ryuji GOUHARA and Seiji OKAMURA

1非会員 国土交通省関東地方整備局利根川下流河川事務所(〒287-8510 千葉県香取市佐原イ4149)
 2非会員 国土交通省関東地方整備局企画部(〒330-9724 埼玉県さいたま市中央区新都心2-1)
 3非会員 国土交通省関東地方整備局下館河川事務所(〒308-0841 茨城県筑西市二木成1753)
 4正会員 いであ株式会社(〒154-8585 東京都世田谷区駒沢3-15-1)

This paper shows a method of river channel excavation plan considering unsteady flood flow using a numerical quasi-3D unsteady flood flow and 2D bed variation analysis model based on the observed temporal changes in water surface profiles in the downstream area of the Tone River. At first, we verified accuracy of the numerical model comparing calculation results with the observed temporal changes in water surface profiles, observed flow hydrograph and the bed variation before and after floods. The numerical model enable more efficient and effective river channel excavation plan.

Key Words : Tone River, unsteady flood flow, bed variation, water surface profile

1. はじめに

利根川下流域における河川整備計画では、準二次元不 等流計算を用いて河道の流下能力を評価し、計画で目標 とする流下能力を確保するための河道掘削を進めてい る.河口部周辺ではまだ河床が高く、令和元年台風19号 洪水では溢水による浸水被害が発生し安全に流すことは できなかった.

利根川下流域は、河川勾配が緩く延長が長いことか ら、河道内貯留による流量低減や河口潮位変動の影響が 大きく無視できない.このような河川で準二次元不等流 計算により掘削計画を立てる場合、洪水の水深や流速の 時間的な変化が考慮されないために、安全側の水位・流 量条件を与えて洪水時の水位を評価せざるを得ず、過大 な掘削計画となってしまう.

本論文では、利根川下流域を対象に、準三次元不定流 計算と平面二次元河床変動計算を組み合わせた解析モデ ルを用いて洪水の非定常性を考慮し、より効率的な河道 掘削計画を検討する新しい試みを行った.



図-1 利根川下流域における洪水観測位置

2. 利根川下流域における洪水観測

利根川下流域(河口~85k区間)では,図-1に示すように縦断方向に約2km間隔で水位計を設置し,洪水時の水位縦断形の時間的な変化を計測している.また,洪水時には曳航式のADCPを用いて流速の横断面分布を計測することで流量観測を行っている.ADCPを用いた流量観測は,河口から77km付近,49km付近,10km付近の3地点で行うことで,洪水の流下に伴い変形する流量ハイドログラフを観測している.







図-3 利根川河口付近の潜水調査による河床状況

3. 利根川下流域における河床特性

図-2,図-3に利根川河口付近の河道平面形と河床形状 及びH23~H28にかけて利根川河口付近を対象にマルチ ビーム測量による河床形状の3次元測量と潜水目視調査 による河床表面の状況把握を行った結果を示す.利根川 の河口から6km付近の河床には広範囲にわたってマガキ とカンザシゴカイが分布しており,河床波のような凹凸 地形が形成されていることがわかり,洪水に対する粗度 要因となっていると考えられる.また,利根川下流域の 川幅は数百mから広いところでは1km程度あるが,河口 0km付近では川幅が300m程度と局所的に狭い.このよう な河道の特徴から,利根川下流域では河口付近が流下能 力上のネックとなっている.

4. 非定常性を考慮した河道掘削計画検討モデル

(1) 従来の河道掘削計画の課題とモデルの概要

従来の河道掘削計画の検討は,準二次元不等流計算を 用いて行われ,観測された洪水ピーク流量を与条件とし

表-1 計算モデルの概要1)

項目	計算手法
流れの解析	準三次元不定流計算
河床変動の解析	平面二次元河床変動計算
掃流砂	芦田・道上式
浮遊砂	浮遊砂濃度の移流拡散方程式
浮遊砂浮上量	板倉・岸の式
河床材料	混合粒径(交換層モデル)

表2	検証計算ケース
~ -	D CHIMP 1 D 1 D

初期地形	検証対象データ	
H21深浅測量	H23.9洪水の水位・流量,H25深浅測量地形	
H25深浅測量	H27.9洪水の水位・流量	
	H29.10洪水の水位・流量	
S63定期横断測量	H19定期横断測量地形	

て洪水痕跡水位(洪水期間中の最高水位包絡)を再現す る河床の粗度係数を逆算する.この方法では洪水の流下 に伴うピーク流量の低減や水位の時間変化が考慮されな いため、粗度係数が大きく推定される.また、導流堤等 の河道の平面形状に起因する抵抗等も粗度係数に含まれ てしまう.その結果として、計画対象洪水の水位予測に おいても流量低減を考慮しないため、水位が安全側に (水位が高く)予測される.このような課題に対して、粗 度係数の推定精度と計画対象洪水における水位の予測精 度を向上させるため、洪水の非定常性や河道平面形状を 考慮できる準三次元不定流-平面二次元河床変動計算を 用いて河道掘削計画を検討した.表-1に検討に用いた計 算モデルの概要¹¹を示す.河床抵抗はマニング式により 評価し、粗度係数をパラメータとした.

(2) 河道掘削計画検討モデルの検証

準三次元不定流-平面二次元河床変動計算により,近 年の洪水で観測された水位縦断形の時間変化,観測流量 ハイドログラフ,洪水前後の河床高変化を再現すること で計算モデルの妥当性を検証した.

表-2に検証計算ケースを示す. 簡易水位計による水位 縦断形観測とADCPによる流量観測が行われた近年の洪 水を検証対象とした. 上流端境界条件は最上流地点の観 測水位時系列を与え,下流端境界条件は銚子漁港の観測 潮位時系列を与えた. H21,H25深浅測量では平面的な 河床高分布を測量しており,H21~H25期間の河床変動 を検証対象とした. また,後述の河道掘削検討において 掘削後の長期間の河床安定性を確認することを念頭に, 平面的な測量ではないもののS63定期横断測量を初期地 形とし,H19定期横断測量地形を検証対象とし,期間中 の洪水流況による長期間の河床変動の再現性を検証した.

図-4~図-9にはH23.9洪水,H27.9洪水,H29.10洪水の 水位縦断形の時間変化と流量ハイドログラフの観測値と 計算値の比較を示す.低水路粗度係数は河道区分別に設 定し,河口~6km区間は前述のカキ等分布域とそれ以外



82 78 74 70 66 62 58 54 50 46 42 38 34 30 26 22 18 14 10 6 2 -2



のシルト・砂分布域を区別して設定した.設定した低水 路粗度係数の値を水位縦断図に示した.いずれの洪水に おいても、シルト・砂及びカキ等の河床材料に応じて粗 度係数を設定することで、河口付近での水位の堰上げが 表現され、観測された水位縦断形の時間変化を再現する ことができた.また、複数の地点でADCPによる流量観 測が行われているH27.9洪水、H29.10洪水では、洪水の 流下に伴うピーク流量の低減と時間遅れ、潮位変動の影 響を受けた流量ハイドログラフの変形も再現することが できた.

図-10~図-11にはH21深浅測量~H25深浅測量の平面 的な河床高変化量,図-12にはS60定期横断測量~H20定 期横断測量の河床高変化量と計算結果の比較を示す.利 根川下流区間全体について,長期・短期ともに実績の河 床変動を概ね再現することができた.

このように、ここで示した手法で洪水計算を行うこと で、利根川下流域において長距離の洪水流下や潮位変動 の影響を受けて時間的に変化する流量や水位縦断形、洪 水前後の河床変化を精度よく再現できることを示した.

5. 河道掘削計画の検討

(1) 河道掘削計画の基本方針

検証した計算モデルを用いて,河川整備計画で目標と する流量ハイドログラフが流下した場合の水位予測を行 い,計画高水位以下で安全に流下させることができる掘 削計画を検討した.掘削検討においては,川幅が狭く河





図-6 H27.9洪水の水位縦断形の時間変化(観測値と計算値)



図-7 H27.9洪水の流量ハイドログラフ(観測値と計算値)









図-10 H21~H25期間の河床変動量の縦断分布(観測値と計算値)



図-11 H21~H25期間の河床変動量の平面分布(観測値と計算値)

床粗度が大きい河口付近を集中的に掘削することで、少 ない掘削土量で洪水時の水位を効果的に低下させる掘削 形状を検討した.

(2) 掘削後の粗度係数の設定

河口付近のカキ等分布域においては、掘削に伴いカキ 等が除去され、上流から流れてくるシルト・砂で河床表 面が覆われた場合には低水路粗度係数が低下すると考え られる.カキ等分布域の掘削後の粗度係数は、カキ等が 分布していない6km上流の粗度係数と同じn=0.013とした. 図-13に示す過去に測量河床に凹凸が見られなかったS40 年代の洪水再現粗度係数がn=0.012である¹ことからも設 定値の妥当性を確認した.ただし、今後も洪水観測を継 続し、カキ等の有無による粗度係数を確認していく.

図-14に示すように河口部の-1.0km~0.0km区間の河床 には粒径2~10mm程度の礫が分布している.この区間で はカキ等が除去された場合でもシルト・砂で構成される 他の区間より粗度係数が大きいと考えられる.ここでは, マニング・ストリックラーの式(1)により粒径に応じた粗 度係数としてn=0.020を与えることとした.

$$n = \frac{k_s^{1/6}}{7.66\sqrt{g}} \tag{1}$$

ここに, k_s:相当粗度であり平坦河床では粒径の2~3倍. g:重力加速度である.



図-12 S63~H19期間の河床変動量の平面分布(観測値と計算値)



図-13 S47.9洪水の水位縦断形の時間変化(観測値と計算値)¹⁾



図-14 河口付近の礫分布

(3) 掘削高の設定

掘削後にカキが再生すると粗度係数が大きくなり流下 能力が維持されないことから,カキの生態を踏まえ,カ キが生息し難い水深を確保する様に掘削高を設定した.



図-15 利根川河口におけるカキ、ゴカイの 生息標高分布

マガキの生息環境は水温25℃付近,塩分濃度10~25% の汽水環境が好適と言われ、多くは干潮と満潮の間の潮 間帯に生息する³.利根川河口におけるカキ及びゴカイ の生息標高分布を図-15に示す.図中の生息割合とは、 潜水調査の総延長に占めるカキ又はゴカイの生息が確認 された延長の割合である.H23~H28年に実施した河口 部潜水目視調査より、標高Y.P.-2~-4mのカキは生存し ているがY.P.-6mではシルト上にカキ殻が点在している 状況であり、河床がシルトで覆われたY.P.-8m以下では 生息が確認されていない.標高別のカキの生息割合では、 カキの約90%がY.P.-6m以浅に生息している.これより Y.P.-6m程度の高さで掘削を行い、河床がシルトで覆わ れる状況になればカキは再生しづらい環境になると考え られる.

(4) 掘削縦横断形

-1.0k~2.0kは、川幅が狭くカキが分布することから河 床高をY.P.-6.0mまで掘り下げる.2.0k~6.0kは、ゴカイ が分布し河床の粗度が大きいことから河床高をY.P.-5.0m まで掘り下げる.これらを基本として、整備計画目標流 量を満足する河積を確保し、掘削土量を必要最小限とす る掘削形状として、-1.0k~2.0k区間をY.P.-6.0m水平掘削, 2.0k~6.0k区間をY.P.-5.0m水平掘削とした.

掘削横断形及び縦断形の擦り付け勾配は、横断法勾配 3割、縦断形状は現況河床勾配相当とし、河床変動計算 により安定性を確認することとした.汽水環境への影響 に配慮し、潮通しのための澪筋掘削を行うこととした. 澪筋掘削の幅と深さは現況河道における澪筋幅と最深河 床高見合いとした.

また,平面的にも川幅が狭い2.0k下流は全幅の掘削を 基本とし,川幅が広い2.0k~6.0k区間はゴカイが集中し て分布する河道中央を中心に洪水流の流向に合わせて掘 削することとした.







(5) 計画流量時の水位と河床安定性の検討

図-16には、以上の考え方で設定した掘削河道の平面・縦断・横断形を示す.

設定した掘削河道について、河道掘削計画検討モデル (準三次元不定流-平面二次元河床変動計算)により計 画対象洪水における水位縦断形を確認し、水位が計画高 水位を超過する場合には6.0k上流の澪筋掘削幅を調整し、 計画対象洪水における水位が計画高水位以下となる掘削 河道を設定した.計画対象洪水は、取手(85.5k)地点で ピーク流量が整備計画目標流量となるように引き延ばし た複数の洪水流量波形のうち、洪水継続時間が最も長く 水位が最大となるS57.7型波形を対象とした(図-17).

また,掘削後の長期的な河床安定性を確認するため, 20年間の実績流況(図-18)による河床変動計算を行い, 河床の洗堀や埋め戻りを確認した.そのうえで,河床変 動後の河道について計画対象洪水流下時の水位を計算し た結果,2.0k~6.0k区間でやや堆積傾向となるものの, 計画対象洪水における水位が計画高水位以下となり流下 能力が維持されることを確認した.(図-19,図-20)

6. まとめ

本論文では、利根川下流域を対象として、潜水調査・ 測量により河床状況の実態と粗度要因を把握し、準三次 元不定流-平面二次元河床変動計算モデルを用いて河床 状況に応じた粗度分布を設定することで実績洪水におけ る水位縦断形の時間変化、観測流量ハイドログラフ、洪





図-20 掘削河道の20年間の実績流況による河床変動平面分布(計算値)

水前後の河床高変化を再現できることを示した. そのう えで, 作成した計算モデルを用いて利根川河口域の河床 特性を踏まえた河道掘削計画の検討を行った.

本論文で示した手法を用いることで、モデル作成・検 討にコストや時間は掛かるが、洪水の非定常性が大きい 河川において水位を精度よく予測することができ、効率 的な事業計画の検討ができるほか、掘削優先度が高い箇 所の把握、治水効果を早期に発現するための効果的な掘 削順序の検討等が可能となる. 謝辞:河道掘削計画の検討にあたっては、中央大学研究 開発機構の福岡捷二教授に多大なご指導を賜りましたこ とへここに謝意を表します.

参考文献

- 岡村誠司,福岡捷二:利根川河口区間における河床波の形成・発達・消滅過程と洪水中の河床波抵抗の評価, 土木学会論文集B1(水工学), Vol. 69, No. 2, pp. 83-100, 2013.
- 日本水産資源保護協会:わが国の水産業かき(牡蠣),2004.
 (2020.4.2受付)