

利根川下流部の河道掘削の検討

- 浚渫土砂に含まれる貝殻片に注目して -

藤原 龍信¹

¹関東地方整備局 利根川下流河川事務所 工務課 (〒287-8510 千葉県香取市佐原イ4149)

利根川河口部は導流堤を有するため、極端に川幅が狭く、また、銚子大橋周辺の河床にカキ礁・ゴカイ礁が発達していることにより、粗度係数が高いことも加わり、洪水流下時における水位上昇をもたらしている。準三次元モデルを用いた解析により、河道中央部の掘削が最も水位低減効果を得られ、かつ、土砂の再堆積が起こりにくいことが示された。また、浚渫土砂に含まれる貝殻片を分析することにより、河床部に生息する生物群集を推察した。そこで、準三次元モデルによる解析結果に貝群集の生態学的側面を加味して考察した。

キーワード 導流堤撤去, 河道掘削, 準三次元モデル, カキ礁

I. はじめに

利根川河口部は、導流堤を有することにより、極端に川幅が狭い特徴を持つ。これに加えて、河口部において繁殖しているカキ礁・ゴカイ礁の影響で粗度係数が高く、洪水発生時において水位の堰上げがもたらされており、流下能力を向上させることで、周辺地域の安全性を高めることが求められている。

本論では、準三次元モデルにより、導流堤の撤去および河道掘削を行った際における水位低減効果の比較と土砂再堆積の予測により、効率的な河道掘削の検討を行うとともに、河口部において繁殖しているカキ礁・ゴカイ礁の除去および再繁殖について議論を拡張するものである。

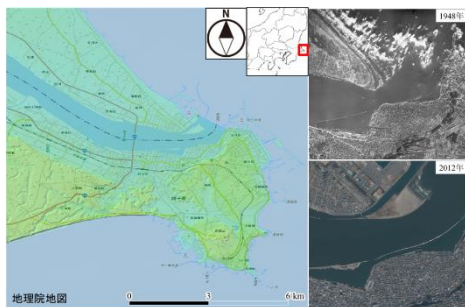


図1. 利根川河口位置図および導流堤付近の空中写真¹⁾

II. 利根川河口の特徴および河道掘削事業の概要

利根川河口部は1948年から1960年にかけて鹿島灘起源の漂砂による河道閉塞を防ぐため、導流堤の設置が行われた(図1)。その後、波崎新港が建設されたことにより漂砂の影響がなくなり、導流堤の必要性は失われ、目標とする流下能力を確保するため、整備計画に撤去が盛り込まれた。しかし、導流堤の撤去による河口周辺の環境、とくに漁業および静穏度の問題や、津波による影響の検討に慎重な対応が求められるため、現在は河道掘削を先行して行っているのが現状である。また、河口部から浚渫された土砂は、銚子大橋周辺に発達しているカキ礁を起源とする多量のカキ殻の混入が確認されており、カキ礁・ゴカイ礁の発達による粗度係数の上昇が課題となっている。

III. 準三次元モデルによる解析

準三次元モデルとは洪水流解析手法の一種である。本論では以下を目的として、洪水流解析を取り扱う。

1. 所与の出水条件下での最高水位等の洪水位の算定

2. 河川管理のための水理量・水理環境・河道特性の把握
3. 水位・流量の伝播特性の把握
4. 河道変化予測のための水理量の算定

本論において内田・福岡(2009)²⁾による渦度方程式を用いた準三次元不定流解析法を渡辺ほか(2002)³⁾による浅水流方程式とこれにより得る水深平均流速の基礎式で補完することで解析を行った。

これに加えて、平面二次元河床変動解析により、河道掘削後の土砂の堆積を予測した。計算には福岡ほか(1998)⁴⁾より流砂の連続式を、平野(1971)⁵⁾より交換層モデルを、佐藤ほか(1957)⁶⁾より佐藤・吉川・芦田の式を、芦田・道上(1972)⁷⁾より修正したEgiazaroff式を、岩垣(1956)⁸⁾より岩垣の式を、Itakura and Kishi (1980)⁹⁾より板倉・岸の式を、河村(1982)¹⁰⁾より浮遊砂濃度の鉛直分布式およびRubeysの式を用いた。

準三次元モデルによりモデル化された利根川河口部の流況において図2に示す範囲a,bを掘削した場合と導流堤撤去、カキ礁除去による水位の縦断変化の比較が図3である。河道掘削が導流堤撤去およびカキ礁除去に比べて水位低減効果が高く(図3-a)、とくに河口2.0kmから下流を掘削することによる水位低減効果が最も大きいことが示唆されたが(図3-b)、当該箇所のみ掘削した場合、土砂の再堆積が発生し(図4-a)、水位低減効果が維持されない結果となった。そこで、これに加えて、カキ礁・ゴカイ礁の除去、上流の掘削による再堆積の予防が効果的であることが示された(図4-b)。

IV. 浚渫土砂に含まれる貝殻片分析

2019年の浚渫工事において浚渫・揚土され、ヤードに仮置きされた土砂の中から、目視によって貝殻片を識別し、採取した標本を流水で洗浄後、「下総層群産貝化石図鑑」¹¹⁾および「続・下総層群産貝化石図鑑」¹²⁾に従い、種同定を行った。同定結果を表1に示す。

従来の報告により認知されていた*Crassostrea gigas* (以下、*C. gigas*)をはじめとして、温暖な浅海の砂泥底を指標する群衆を認めた。多くの標本について損傷が小さく、摩滅が少ないことから、現地性と考えられるが、一部の貝殻片において化石化していることが示唆されたほか、激しく摩滅しているものも認められた。*C. gigas*は稚貝の状態で海中を浮遊しながら岩礁に固着し、成長・繁殖を行うが、基質特異性をもたず、他の貝の遺骸に固着して成長する場合があることが報告されている¹³⁾。この

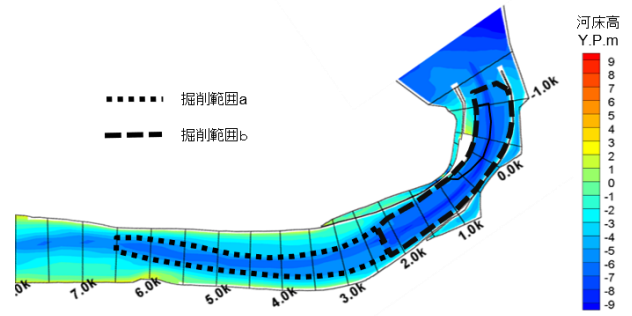


図2. 河床掘削範囲平面図

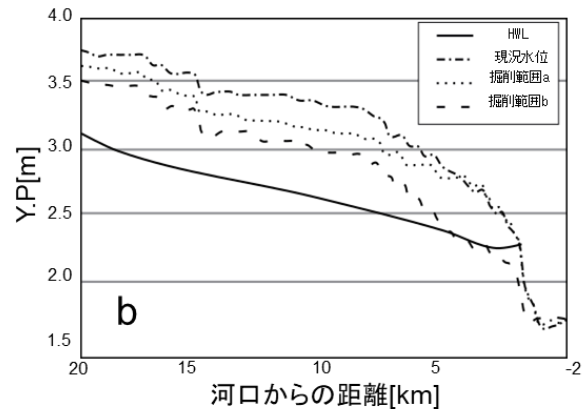
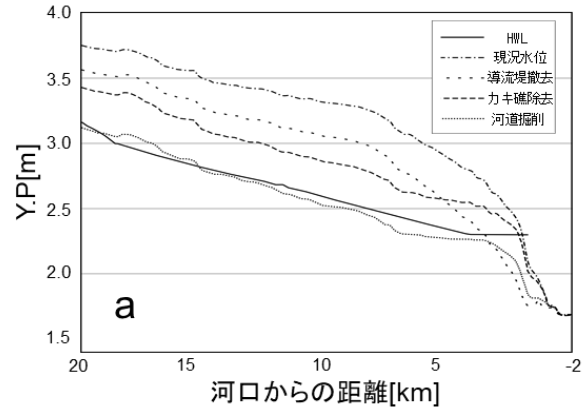


図3. 準三次元モデルによる水位低減効果比較
(a: 事業内容比較, b: 掘削箇所比較)

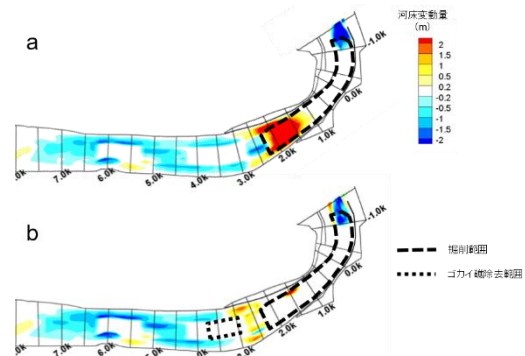


図4. 河道掘削後における10年後の河床変動量
(a: 河道掘削のみ, b: 河道掘削後にゴカイ礁を除去)

表1. 採取標本一覧

番号	学名	和名	生息環境	底質	備考
1	<i>Corbicula japonica</i>	ヤマトシジミ	汽水	砂質泥	
2	<i>Crassostrea gigas</i>	マガキ	内湾	岩礁, 礫, 砂, 泥	大型, 厚質, 長軸方向に発達
3	<i>Glycymeris rotunda</i>	ベニグリ	外洋	砂, 砂質泥	捕食痕有
4	<i>Gomphina melanaeigis</i>	コタマガイ	外洋	砂	
5	<i>Maetra veneriformis</i>	シオフキ	内湾	砂, 砂質泥	
6	<i>Maretrix lamarekii</i>	チョウセンハマグリ	外洋	砂	多産, 優占種
7	<i>Mya(Arenomya)arenaria oonogai</i>	オオノガイ	内湾	泥	合弁, 内部に泥が充填
8	<i>Nuttallia japonica</i>	イソシジミ	内湾	砂質泥	
9	<i>Pseudocardium sachalinensis</i>	ウバガイ	外洋	砂, 砂質泥	風化にバラつき有 内部にカキの固着痕跡有
10	<i>Ruditapes philippinarum</i>	アサリ	内湾	礫, 砂, 泥	合弁, 内部に泥が充填
11	<i>Ruditapes verigatus</i>	ヒメアサリ	内湾	礫, 砂, 泥	
12	<i>Saxidomus purpurata</i>	ウチムラサキ	内湾	礫, 砂	風化大
13	<i>Scapharca satowi</i>	サトウガイ	外洋	砂質泥	大型, 損傷にバラつき有
14	<i>Glossulax didyma didyma</i>	ツメタガイ	内湾	砂	
15	<i>Haustator(Kurosoia)cf. cingulifera</i>	ヒメキリガイダマシの比較種		砂	摩滅大, 化石化の可能性有
16	<i>Ubonium giganteum</i>	ダンベイキサゴ	外洋	砂	表面の真珠層が明瞭
17	<i>Nipponacmea concinna</i>	コウダカアオガイ		岩礁	小型
18		魚鱗			ウバガイに充填された泥から産出

際, *C. gigas* は基質を中心に逆円錐のブーケ状に成長し, 大きいもので垂直方向に1m 程度のカキ礁を形成するとされている. 利根川河口中央部は河床が砂泥に覆われていることから, 河道兩岸のコンクリート護岸や銚子大橋の支柱に固着・繁殖したものが, 斃死・剥落し, それを基質に成長したものと考えられる. 二枚貝遺骸を基質にカキ礁が形成されたとする推察は従来の報告および今回採取された群衆の分析結果と矛盾しない. また, *C. gigas* が比較的大型であったが, この種は富栄養下において早期に産卵・放精を行い斃死するとされており, このことから, 利根川河口部で*C. gigas* が大型化していたことは, 海水中のデトリタスおよびプランクトンが飽和していない環境であることを示し, 数年かけて大型化した後に斃死・剥落することで, 河道内に堆積していると思われる.

V. 考察

準三次元モデルによる解析結果から, 河道を優先的に掘削した2つのパターンでは河道断面の拡大に加え, 河床の平滑化とカキ礁・ゴカイ礁の除去による粗度係数低下が加わることで, 水位低減効果が期待される一方で, 土砂の再堆積が容易に発生し, 長期的な維持が困難であると推測された. このため, 河道中央部掘削の後, 掘削箇所上流のゴカイ礁除去を行うことが水位低減効果とその長期的維持の両面において優れると言え, これは, 現在の河道中央部掘削と連続的に行うことができるものである. ただし, 上記の比較は, カキ礁を固定床とし

て扱った解析によるものであり, カキ礁の生態学的側面を考慮していないことに留意されたい. また, 将来的に河川整備計画に含まれている導流堤の撤去を行うことで, より高い水位低減効果とその長期維持が可能であると考えられ, 先行して実施している河道掘削の効果を高めるために, より詳細な検討が重要である.

利根川河口部でカキ礁を形成している*C. gigas* は稚貝として海中を漂い, 適当な基質に固着することで成長する. 先に述べたように, カキ礁の発達には他の二枚貝類の遺骸を基質に行われていると考えられる. 2018年に行われた潜水調査では, Y.P-6.0m 以浅にカキの97%が生息していると報告され, これより河床高が深くなるように掘削することにより, 再繁殖を抑制できると考えている. カキは養殖筏にて, 水面より10m 程度の深さまで垂下が行われていることから, Y.P-6.0m は生息限界水深ではないことが知られているが, 河口から1.0km 地点の河床において2012年と2016年における同地点の調査結果を比較した際, Y.P-6.0m 以深において, カキ礁の分布の拡大は認められないと報告された. これは出水などの堆積イベント発生にともない, カキ礁およびその基質が埋没することによりカキが定着できなかったかあるいは窒息死したことによると考えられる. 代表的な堆積イベントとして, 2019年の令和元年東日本台風出水により, 土砂の堆積が認められた. Y.P-6.0m 以深において, 堆積が顕著な箇所では水深方向に2m 程度堆積しており, 同様の堆積イベントが定期的に発生する場合, カキ礁の再生は抑制されると考えられる. これについては, 河床の層序を精査することにより, タービダイト堆積物に類似する堆

積構造を有するかを調査することにより、その発生頻度を推測することが重要であることを示している。しかし、物理的にカキ礁を除去したとしても、その環境条件から、再繁殖は十分に可能であると思われるため、継続的な調査と、これを考慮した検討が今後必要となる。また、採取された貝殻片の中には、一部に化石化が示唆されるものを含んでいた。関東平野の周辺では下総層群木下貝化石帯に代表される第四紀の浅海性堆積層が多く認められるほか、銚子半島においても第四紀含貝化石層を有することから、これら貝化石帯の相当層であると解釈できる。このことから、準三次元モデルによる解析によれば河道中央部を掘削することにより、水位低減効果を有意に得られるとされているが、これは河道断面の拡大と粗度係数の低下に目を向けた評価であり、カキ礁が再度発達することによる粗度係数の上昇を考慮した場合、河道の掘削と並行したカキ礁の除去が重要である。しかし、現在の利根川河床が先述の貝化石帯相当層である場合、現生貝の遺骸に加え、貝化石が基質になり得るため、該当層の分布や層厚・傾斜を考慮した河道掘削の範囲・深度の設定が必要となる。本論執筆時点では、確認されていないが、カキ礁が形成された場合に、その隙間に定着する *Trapezium liratum* や砂泥底に生息する大型巻貝である *Rapana venosa* などの環境指標種の生息が予想され、破損が少なく、現生のものであると確認できれば、河床環境の判断材料となるほか、化石化が認められれば、堆積層の層序区分についての検討材料となろう。

VI. まとめ

本論では準三次元モデルを活用した河道掘削による治水効果の評価に対して、二枚貝の生態学的側面からアプローチを行うことで、準三次元モデルに計算結果に河床環境とカキ礁の生成条件を加え、概念の拡張を行ったうえで、河床環境について考察した。

準三次元モデルにおいて、カキ礁を単純な障害物としていたが、これに *C. gigas* をはじめとする生物相の分析を加えることで新たな検討材料としての有用性が示された。

現在の河道中央部掘削に加えて、河道側部に固着したカキ礁を除去することで、*C. gigas* 稚貝の供給源を絶つことによるカキ礁の発生予防の検証が今後重要であり、カキ礁の除去後の粗度低下効果の維持および再繁殖に要する期間の検討が今後の課題となる。また、本論における評価は河道の水理学的解析に河床の生物相の特徴を加味したものであるが、現状として、利根川周辺

の地質構造、とくに河床について層名をはじめ、走向・傾斜・層厚・年代に不明瞭な部分がある。銚子半島については地質学的研究が盛んな地域であるが(例えば、高橋ほか, 2003; 安藤, 2006など)、利根川河床は直接的な観察が困難であるなど、その環境条件から研究報告に乏しい。今後は先の地質学的な条件について、専門性の高い調査が必要となる。

引用文献

- 1) 国土地理院 地図・空中写真閲覧サービス (<http://maps.gsi.go.jp>)
- 2) 内田龍彦・福岡捷二(2009) 浅水方程式と過度方程式を連立した準三次元モデルの提案と開水路合流部への適用. 水工学論文集, 53, 1081-1086.
- 3) 渡辺明英・福岡捷二・Alex George Mutasingwa・太田勝(2002) 複断面蛇行河道におけるハイドログラフの変形と河道内貯留の非定常2次元解析. 水工学論文集, 46, 427-432.
- 4) 福岡捷二・渡辺明秀・岡田将治(1998) 静水圧3次元解析モデルによる複断面蛇行水路河床変動解析. 水工学論文集, 42, 1015-1020.
- 5) 平野宗夫(1971) *Armoring* をともなう河床低下について. 土木学会論文報告集, 195, 55-65.
- 6) 佐藤清一・吉川秀夫・芦田和男(1957) 河床砂礫の掃流運搬に関する研究. 水理学研究会講演集, 2, 25-26.
- 7) 芦田和男・道上正規(1972) 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究. 土木学会論文報告集, 206, 59-69.
- 8) 岩垣雄一(1956) 限界掃流力に関する基礎的研究 (I) 限界掃流力の流体力学的研究. 土木学会論文集, 41, 1-21.
- 9) Itakura, T and Kishi, T (1980) Open Channel flow with suspended sediments. Proc. of ASCE, HY8, 1325-1343
- 10) 河村三郎「土砂水理学 I」森北出版 (1982, 12)
- 11) 渋谷正通・三谷 豊・南波鑑四郎・野中義彦「地学ハンドブックシリーズ 18 下総層群産貝化石図鑑」地学団体研究会(2008, 8)
- 12) 太田仁之・渋谷正通「地学ハンドブックシリーズ 24 続・下総層群産貝化石図鑑」地学団体研究会(2017, 7)
- 13) 小松俊文(2004) 日本の中生代汽水性二枚貝化石群に関する研究の現状：天草地域の白亜系から産出する二枚貝の生息域とジュラ紀～白亜紀マガキ類の古生態について. 化石, 76, 76-89.
- 14) 小林雅人(2012) マガキの成長過程のモデル化に向けた生理的パラメータの検討. 横浜商大論文集, 45(2), 147-175.
- 15) 高橋雅紀・須藤 斎・大木淳一・柳沢幸夫(2003) 千葉県銚子地域に分布する中新統の年代層序. 地質学雑誌, 109(6), 345-360.
- 16) 安藤寿男(2006) 関東平野東端の太平洋岸に分布する銚子層群・那珂湊層群・大洗層の地質学的位置づけ. 地質学雑誌, 112(1), 84-97