

平面二次元モデルを用いた児島湖の土砂流動特性に関する基礎検討

岡山大学大学院 環境生命自然科学研究科 学生会員 ○山本 樹
 岡山大学 学術研究院環境生命自然科学学域 正会員 赤穂 良輔
 岡山大学 学術研究院環境生命自然科学学域 フェロー会員 前野 詩朗

1. はじめに

近年の豪雨災害は温暖化の影響を如実に示し、今後気候変動が進行するにつれ頻度が増し規模も大きくなることが予想される。防災・減災の観点から河川や湖沼あるいは貯水池の流入量、流出量、許容量および水底の土砂堆積と洗堀状況等に関する的確な情報の提供が不可欠となる。本研究では、児島湖を対象として数値シミュレーションと定期水底実測を導入した陸水域の流れと水底地形変動に関する解析システムの開発と実用化方法を検討している。

児島湖は、児島湾干拓地の慢性的な水不足や塩害、高潮による浸水被害を解決するため児島湾の最奥部を1956年に締切堤防を設置することで人工的に作られた湖である。児島湖の貯水機能を維持・管理するためには、a)流入河川からの土砂流入、b)湖内における流動状況、およびc)湖内水底への土砂堆積に関する的確な情報の提供が不可欠となる。

ここで、主要な流入河川である笹ヶ瀬川と倉敷川は県管理であるため、地形データおよび水理データが乏しく、また、児島湖に流入する河川の水位は、児島湖のゲート操作が影響するため、河川流量の算出方法として通例である水位-流量曲線(以下、H-Q曲線)により求めることが難しい。

そこで本研究では、児島湖内に流入する土砂の流動特性について基礎的な検討として、1)児島湖内水位の変動に着目し流入河川の簡易的な流量算出手法の構築と、2)平面二次元解析を用いた2つの河川からの流入水の動態の特徴について検討を行った。

2. 流入河川の流量データの算出方法の検討

2.1 流量算出の概要

河川流量の算定は、水位計測値 H と既往のデータから求められた流量 Q による $H-Q$ 式から求めることが通例である。しかし、本研究で取り扱う笹ヶ瀬川及び倉敷川は、計測水位に児島湖のゲート操作による湖内水位変動の影響が入るため、 $H-Q$ 式の立式が

困難である。感潮域においても同様の課題について、鶴崎らが検討しているが、未だ改善点は残されている。本研究では、樋門の閉鎖時刻から解放時刻までの経過時間と水位差の関係に着目し、簡易的な河川流量の算出を行った。検討期間は、1日に約70mmの降水量が観測された日を含む2020年6月17日～6



図-1 対象領域の概略図及び水位計測位置

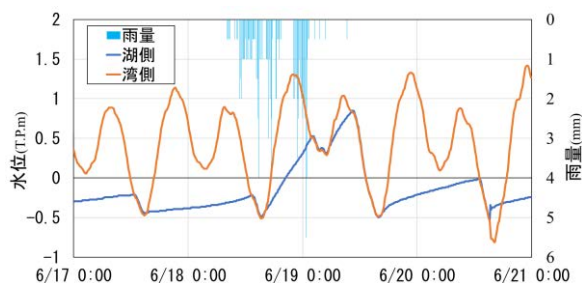


図-2 児島湖・児島湾における観測水位及び岡山観測所における10分雨量の時間変化

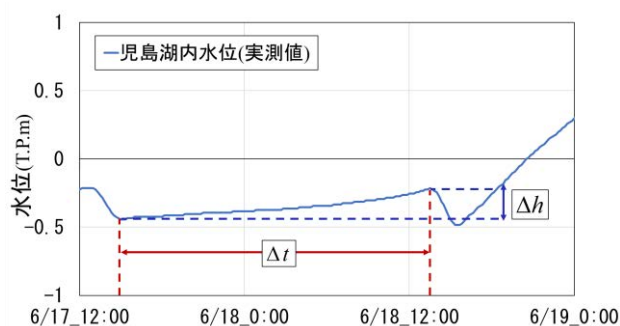


図-3 児島湖への河川流入量の概算

キーワード 平面二次元モデル, 土砂流動, 水底地形変動, 児島湖

連絡先 〒700-8530 岡山市北区津島中 3-1-1 岡山大学大学院環境生命自然科学研究科

TEL 086-252-1111

月 20 日までとした。

2.2 児島湖水位データを用いた流量概算値の算出

図-1 に児島湖周辺の水位観測地点、図-2 にゲートの内外水位の時間変化及び 10 分雨量を示す。図-2 より、内外水位が一致している期間はゲートを開放していると考えられる。また、降雨による水位上昇を算出したところ、対象期間では水位上昇が最大で 5cm 程度となりゲート操作による水位変化と比較し十分小さいと考え、降雨による流量は流入河川の上流端流量として取り扱うこととした。なお、より降雨強度が大きいイベントの場合は、降雨による直接的な流入量を検討する必要があると考えられる。

本研究では、まず、ゲートが閉じている期間を対象として、流入河川より児島湖に流入する総流量を式(1)より算出した。

$$Q = \frac{\Delta h \times A \times 10^6}{\Delta t} \quad (1)$$

ここで、 Q (m³/s)は児島湖内に流入する総流量、 Δh (m)はゲート閉鎖期間の児島湖内水位の水位変化量、 A (km²)は児島湖面積、 Δt (s)はゲート閉鎖時間

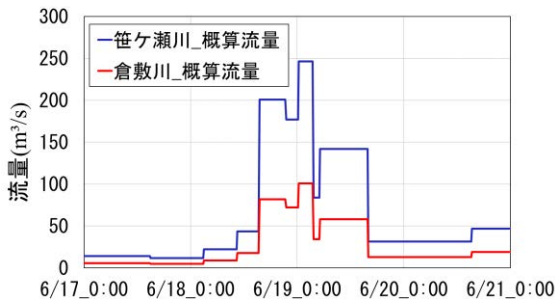


図-4 各河川からの流入流量の概算値

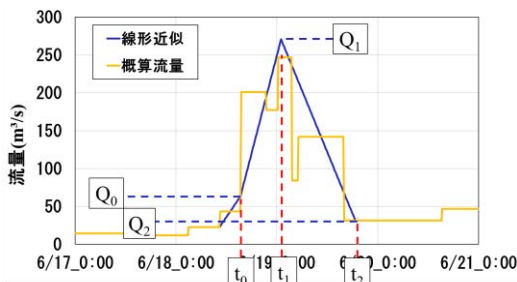


図-5 降雨イベント時の河川流入量の算出

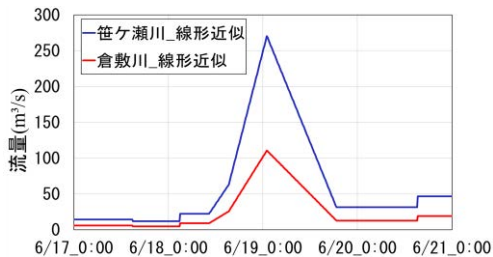


図-6 上流端流量の時間変化

であり、図-3 で示すように設定した。次に、笹ヶ瀬川と倉敷川の計画高水流量比より、両河川の流量概算値を算定する。笹ヶ瀬川流量概算値を Q_s 、倉敷川流量概算値を Q_k とし、式(2)に示すように設定した。流入流量の概算値を図-4 に示す。

$$Q_s = \frac{22 \times Q}{31}, \quad Q_k = \frac{9 \times Q}{31} \quad (2)$$

2.3 河川流量の設定

平水時については、ゲート開放時も含め、式(2)で算出した流量概算値を直接流量として与えた。一方で図-2 に示す降雨イベント発生時は、下記の式を用いて線形近似を行った。

$$Q(t) = \begin{cases} \frac{Q_1 - Q_0}{t_1 - t_0}(t - t_0) + Q_0 & (t_0 \leq t \leq t_1) \\ \frac{Q_2 - Q_1}{t_2 - t_1}(t - t_1) + Q_1 & (t_1 \leq t \leq t_2) \end{cases} \quad (3)$$

ここで、時刻 t_0 及び t_2 は図-5 に示す線形近似の開始時刻と終了時刻、 Q_0 及び Q_2 は各時刻における流量概算値を示す。また、流量ピーク時刻 t_1 を、雨量が最も多い時刻とし、ピーク流量は Q_1 とする。ここで、未知数の Q_1 を求めるためこの線形近似範囲において近似前後で流量の積算値は変わらないものとし、条件式を以下に示す。

$$V = \int_{t_0}^{t_2} Q(t) dt \quad (4)$$

ここで、 V は、時刻 t_0 から t_2 までの流量積算値である。以上より、ピーク流量 Q_1 を算出した。また、平水時から近似流量を用いるまでの時刻において流量の積算値は不変であることを条件に同様に線形近似より流量を算出した。最終的な 2 河川からの流入流量のハイドログラフを図-6 に示す。

3. 平面二次元流解析による算出流量の評価

3.1 平面二次元流解析による算出流量の評価

前章で算出した流量を境界条件に設定し、平面二次元モデルを用いた数値解析を行う。児島湖内水位を解析結果と実測値から比較し、算出した流量の本研究における妥当性について評価する。

3.2 解析条件

解析範囲及び地盤高コンターを図-7 に示す。計算領域を三角形非構造格子で分割し、計算格子サイズは児島湾部が 30m、締切堤防のゲート部が 24m、児島湖及び笹ヶ瀬川、倉敷川は 20m とした。地盤高について児島湖は、深浅測量データ(昭和 63 年度岡山県測量)を参考に作成した。笹ヶ瀬川、倉敷川は、200m 間隔の定期横断測量データ(2019 年度岡山県測量)を線形

補完したのち内挿した。児島湾は、既往の研究²⁾で使用したデータを参考に作成した。境界条件について、上流端流量は前章で算出した流量を用いた。下流端水位は、図-2に示す児島湾潮位を与えた。解析期間における樋門の開閉操作時間については、岡山県備前県民局³⁾の資料を参考に設定した。

また、ゲート部分の計算格子を図-8に示す。ゲートの開閉操作について、本解析ではゲートが位置する締切堤防の6メッシュをゲート閉鎖時は壁条件、ゲート解放時は自由流出条件とし、ゲートの開閉操作

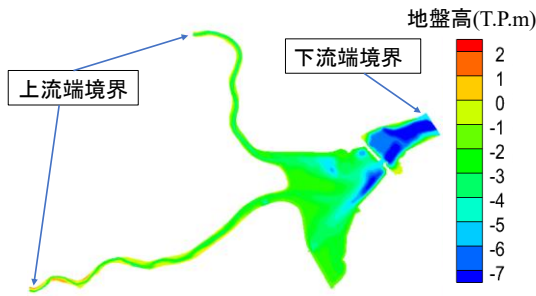


図-7 解析範囲及び地盤高コンター図

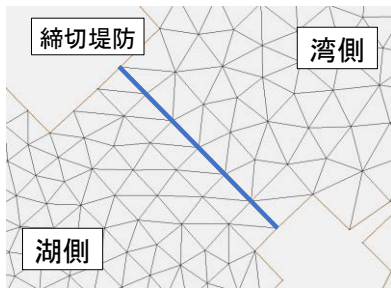


図-8 ゲート付近計算格子

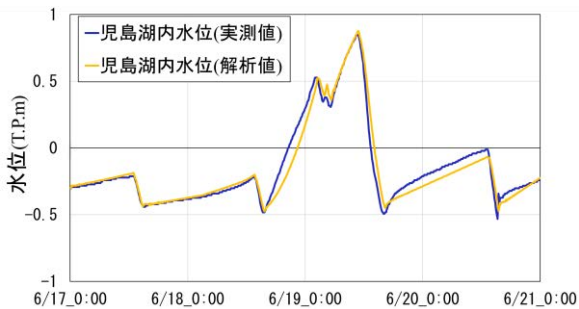


図-9 解析結果と実測値の比較

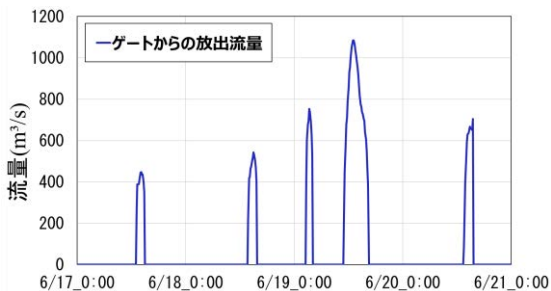


図-10 ゲートからの流出流量

を考慮した。

3.3 解析結果と考察

児島湖内水位の時間変化を図-9に示す。6月17日0時00分から6月18日12時00分頃の平水時において、実測値と解析値は概ね一致している。また、6月18日15時40分から6月19日16時00分頃の降雨時において、6月18日15時40分から約10時間の期間では解析値がやや過小となっているものの、その他の期間は各ピーク値を含め良好に再現できており、本研究で検討した簡易的な流量算出方法は有効であると考えられる。一方で、6月19日16時00分頃以降については、解析値が過小となっている。これは、笹ヶ瀬川と倉敷川以外からの排水流量によるものと考えられ、今後改善が必要である。また、解析結果から算出したゲートからの流出流量の時間変化を図-10に示す。平水時のゲート開放時間は約1時間40分、ピーク流出流量は約430m³/sに対し、降雨イベント時のゲート開放時間は合計約7時間40分、ピーク流出流量は1080m³/sで約2.5倍となっており、より大きな水底変動が生じると考えられる。したがって、今後、定期的な水底観測に加えて降雨イベント後の水底観測が必要であると考えられる。

4. 児島湖内に流入する土砂の流動特性に関する基礎検討

4.1 解析概要

児島湖内に流入する土砂の流動特性について基礎的な検討として、笹ヶ瀬川及び倉敷川の河口から流入した水塊の流動特性を把握するため、各河川の河口に境界条件 $C=1.0$ を与えた無次元スカラー量 C の移流計算を行った。

4.2 解析条件

平水時における長期間の移流特性を把握するために、前章の解析期間から平水時の境界条件を繰り返して4日間とした解析条件 A (図-11) と降雨イベント前後における移流特性を把握するために、前章と同

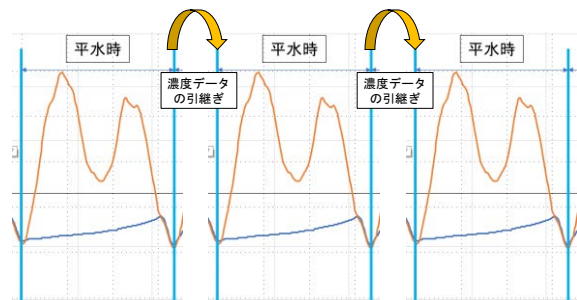


図-11 解析条件 A

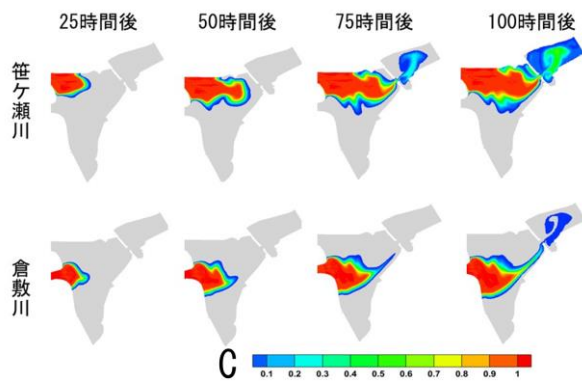


図-12 解析条件 A の C の時間変化

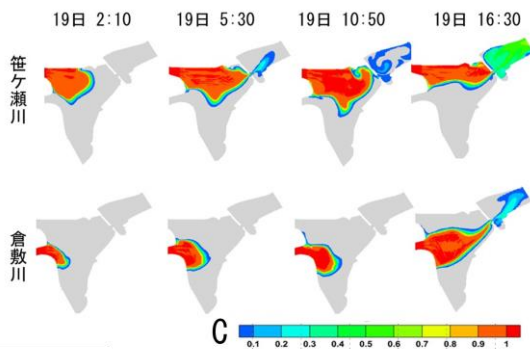


図-13 解析条件 B の C の時間変化

じ境界条件を与えた解析条件 B について検討を行った。

4.3 解析結果と考察

解析条件 A の結果を図-12 に、解析条件 B の結果を図-13 にそれぞれ示す。笹ヶ瀬川から流入した水塊は、児島湖北側へ流れ込み、ゲートより児島湾内へ排水し、一方、倉敷川から流入した水塊は、児島湖中央部を通過しゲートから流出すると考えられる。また、平水時の各河川の河口からゲート付近までの輸送時間は、笹ヶ瀬川が約 75 時間、倉敷川が約 100 時間であった。

一方、降雨イベント発生時は約 13 時間 30 分後に、笹ヶ瀬川から流出した水塊はゲートに到達し、平水時と比較して南側に高い濃度が広がっていることが確認できる。倉敷川については、ゲート到達まで 24 時間となっており、笹ヶ瀬川からの流出と比較して、移動量が小さくなっている。今回の解析では、上流端流量の比率を計画高水流量比より与えているが、今後は降雨条件や流域面積を考慮した流量比を検討することで、より各河川からの流入水の動態特性を検討する必要があるものの、概ね傾向について本解

析より検討できると考えられる。

今回の解析により、児島湖に河川から水とともに土砂が流入することを考慮し、笹ヶ瀬川と倉敷川から流入する土砂の流動特性について定性的な評価を行った。今後は、現地観測による児島湖の水底地形データを収集・蓄積することで土砂流動特性について定量的な検討を行いたい。

5. 結論

本研究では、児島湖の土砂流動特性に関する基礎検討として、笹ヶ瀬川と倉敷川の流量の算定及び両河川からの流入量の動態に着目した平面二次元流解析を行った。以下に、本研究で得られた結論を示す。

- (1) 児島湖の内外水位データより、簡易的な河川流量ハイドロデータを作成し、児島湖の流動再現解析を実施した。その結果、観測水位データとの比較より、概ね良好な再現性が示された。
- (2) 河川からの流入水塊の流動特性を検討するために、無次元スカラー量の移流解析を行った。その結果、ゲート開放時の移流量が大きく、また降雨イベント時は内外水位差が大きいため、平水時と比較して、ゲートへの到達時間が 1/5～1/4 程度となることが示唆された。

水底地形変動の将来予測を行うためにはより長い期間における再現性の高い流量算定方法の検討が必要となる。また、児島湖の地盤高データを現地観測により収集・蓄積していくことで児島湖内に流入する土砂の流動特性について定量的な検討を行いたい。以上の点をふまえて今後考察していく。

参考文献

- 1) 岡山県備前県民局農地農村計画課，児島湖水位情報，
<http://www.kojimakoinfo.pref.okayama.jp/>
- 2) Mohammed Al-Baghdadi : Investigation of the Physical Environmental Characteristics for Tidal Flat Creation in Brackish Water Areas of the Yoshii River and the Asahi River, 2022.
- 3) 岡山県備前県民局農地農村計画課，児島湖水位情報，
<http://www.kojimakoinfo.pref.okayama.jp/>