

洪水時のSS濃度について

SS concentration at the time of the flood

北海道大学工学部土木工学科 学生員 佐藤希世 (Kiyoko Sato)
 (独)土木研究所寒地土木研究所 正会員 吉川泰弘 (Yasuhiro Yoshikawa)
 北海道大学大学院工学研究科 正会員 泉典洋 (Norihiko Izumi)

1. はじめに

近年、河川流域の環境に対する関心が高まっている。水に関する問題として、濁水や洪水、水質汚染などがあげられる。川の汚染の問題は、その流域に住む人間を含めた生物に多大な影響を及ぼす。栄養分が多く含まれる農業廃水や家庭排水は、処理をした場合でも窒素やリンなどを完全に除去することは難しい。窒素やリンなどが河川流域の中で湖や沼、沿岸などに蓄積すると水質が富栄養化状態となる。富栄養化状態は生態系における生物の構成を変化させ、一般に生物の多様性を減少させる方向に作用する。¹⁾

このように環境に影響を与える窒素やリンなどの様々な栄養物質が細粒成分に吸着されて輸送されること、また河口部分や沿岸部における生物環境に大きな影響を与える有機物の大部分が浮遊微細粒子の状態で輸送されることが明らかになり、浮遊微細粒子 (Suspended Solid) の輸送が注目を集めることになった。微細粒子には、粘土、シルト、細砂、中砂などが含まれるがこの中でシルトが N や P などの栄養物質と相関が高いことがわかっている。²⁾ 栄養物質の多くが SS (Suspended Solid) 成分のシルトに輸送、吸着された形で洪水時に流下している。

現在、いくつかの SS の輸送モデルが提案されているが、どのモデルが SS の輸送を表現するのに良いか十分に検討されていない。また洪水時の SS 濃度が実際にどのように挙動しているかも十分明らかになってはない。この研究では、設定の違う2つのモデルを同じ洪水のデータで比較することによって SS 輸送モデルについて考察し、洪水時の SS の濃度や輸送の挙動を把握することを目的とする。

2. 対象となる洪水

対象流域は日高地方の沙流川で、流域面積は 1,350km²、幹線流路延長は 104km とした。洪水のデータは平成 13 年度の洪水である。²⁾

対象区間は、KP2.8 の沙流川橋から上流へ 14.2km とした。

3. SS 輸送モデル

本研究では、モデル「河床上における存在量を考慮した浮遊微細粒子モデル」(泉典洋・ピライターシタン・田中仁)³⁾とモデル「物質輸送に与える大規模洪水の影響」(吉川泰弘・渡邊康玄)²⁾の二つの微細浮遊粒子の輸送モデルを用い、同地点における SS 濃度を比較した。異なる河床条件を比較できるように、河床条件以外の設定は同様のものを用いた。



図-1 沙流川と観測点

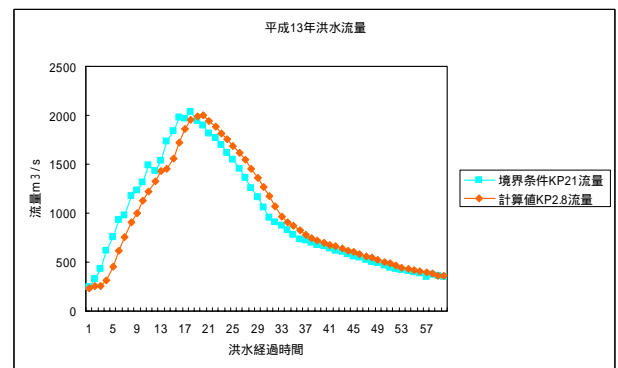


図-2 平成13年度洪水流量

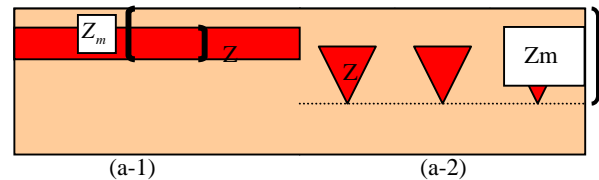


図-3 微細粒子利用度関数 (イメージ)

3-1 モデル³⁾

モデルは固定床上に均一な粒径 (シルトに設定) の砂が存在しているものと、また次式で表される微細粒子利用度関数 (P) を計算に使う河床上のシルトの砂量を表現している。

$$(a-1) Z < Z_m \quad P = \frac{Z}{Z_m} \quad (1)$$

$$(b) Z \geq Z_m \quad P = 1 \quad (2)$$

$$(a-2) Z < Z_m \quad P = \frac{\sqrt{2ZZ_m}}{Z_m} \quad (3)$$

微細粒子利用度関数とは、河床表層の交換層において巻き上げに利用することができる細粒成分の率を表すパラメーターであり、細粒成分が河床上に豊富に存在する場合 1 の値をとり、豊富に存在しない場合は 1 以下の値

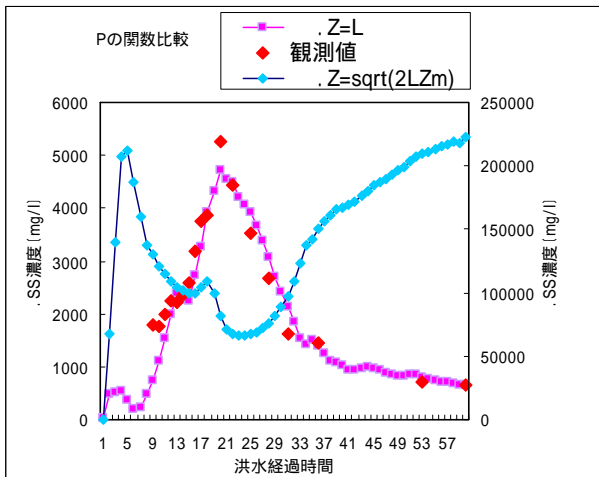


図 - 4 P の関数の比較

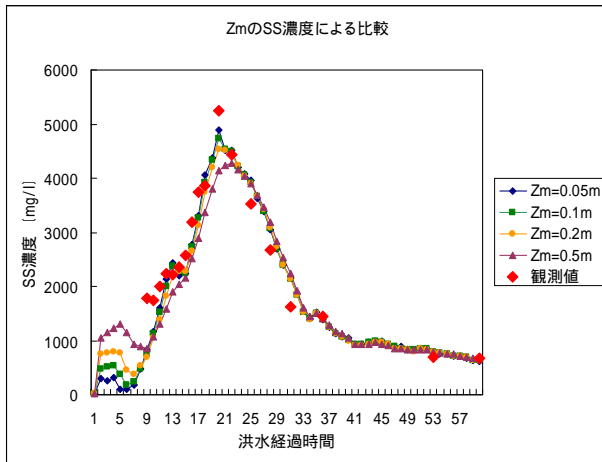


図 - 5 Zm の SS 濃度による比較

をとる．P は式 (1) ，式 (2) のように表される．Z は交換層内に存在する細粒成分の量を表し長さの次元を持つ変数である．また Zm は Z がそれ以上の値になっても巻き上げ量が増加しなくなる飽和値を表している．P の関数の形はまだ良くわかっていない．このモデルにおいて，泉らはもっとも簡単な関数として Z を (1) 式を用いて計算していたが，本研究では違う形の (3) 式を比較対象として設定し SS 濃度を比べてみた．(1) 式は平らな河床の上に堆積していく場合の堆積厚を表している．(3) 式は溝を埋めるように堆積した場合のシルト分が河床表面に占める割合を表している．計算の中で，(1) 式は Zm の値を 0.1m に，(3) 式は Zm の値を 0.2m に設定し交換層内の堆積可能な体積を同値にした．

図 - 2 は沙流川の洪水データを使った (1) 式と (3) 式の計算結果と KP2.8 での観測値の比較である．図 - 4 を見ると式 (1) と式 (3) とでは大きく値が違う．観測値と比較し式 (1) の方が定量的にも定性的にも相関が良いので，式 (1) を採用した．

次に Zm の値を検討する．Zm は Z がそれ以上の値になっても巻き上げ量が増加しなくなる飽和値であるが，交換層厚を考えその厚みと値を一致させるのが適当と思われる．図 - 5 では Zm を変化させて比較している．洪水開始直後とピーク時に結果に違いが見られる．洪水開

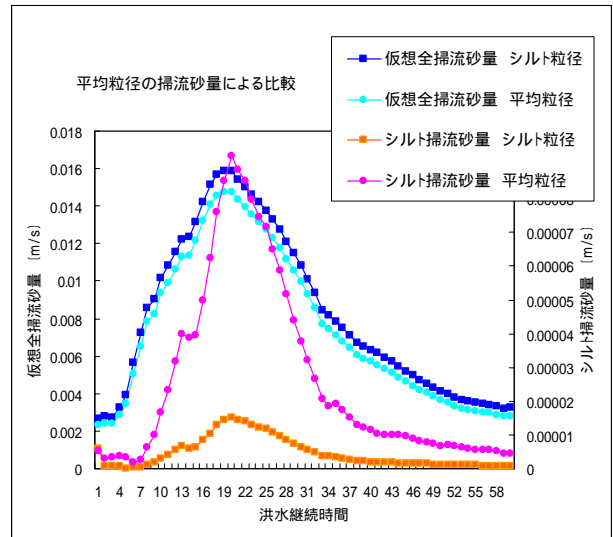


図 - 6 平均粒径の掃流砂量による比較

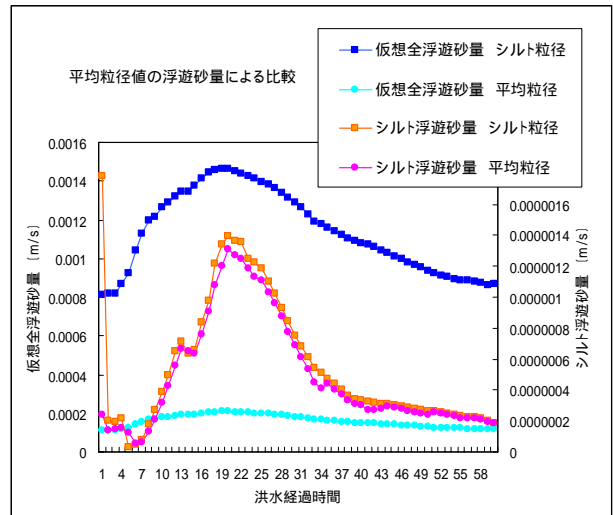


図 - 7 平均粒径による浮遊砂量の比較

始直後は Zm の値が大きくなるごとに SS 濃度の値が大きくなっている．これは P の初期値を一定にしているので，L の初期値が Zm に比例して大きくなっているためと思われる．ピーク時は Zm の値が大きくなるほど SS 濃度のピーク値は小さくなっている．洪水開始直後の観測値はないがピーク時の観測値をみると Zm は小さいほうが SS 濃度の値に近い．交換層厚には一般に最大流径に近い値を採用することが多いことを考慮して，Zm には 0.1m を採用した．

両モデルにおいて掃流砂量と浮遊砂量の計算の中で平均粒径を使っている．モデル は混合砂の平均粒径を与えているが，モデル ではシルトのみを使っているのでシルトの粒径を与えるか．モデル と同じ平均粒径を与えるか検討が必要になる．シルトの粒径は 0.0075cm 程度でモデル の平均粒径は 2cm 程度である．図 - 6 と図 - 7 は掃流砂量と浮遊砂量で，モデル の平均粒径をシルトの粒径にした場合と，モデル の混合砂の平均粒径にした場合を，仮想全粒系の砂量とシルトのみの砂量の両方で比較している．図 - 6 のシルト掃流砂量の値が大きく異なっている．また図 - 7 を見るとシルト浮遊砂

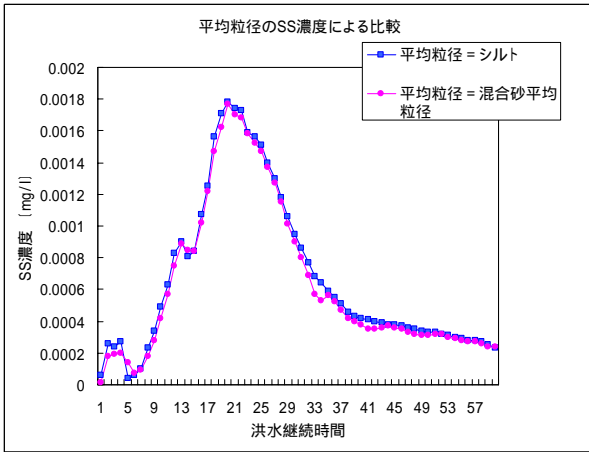


図 - 8 平均粒径の SS 濃度による比較

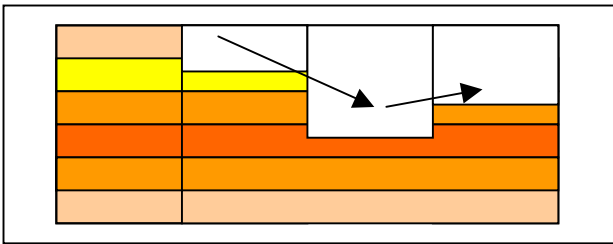


図 - 9 原河床イメージ

量の、平均粒径をシルト粒径に設定した場合の洪水開始直後の値が異常に大きくなっている。図 - 8 は SS 濃度によって比較している。両粒径の計算値は似たような値となった。図 - 6 で見られる掃流砂量の違いはあまり影響がないことがわかった。どちらの場合でも結果に大きな影響は与えないので、モデルと条件を揃える意味で平均粒径はモデルの混合砂の平均粒径を与えた。

3-2 モデル²⁾

このモデルは移動床で実際の河床に忠実な混合砂を設定しており、また各時間と場所毎に交換層内の各粒径の存在比 (R) 計算し河床上の砂量を表現している。このとき各粒径の存在比の計算は一定区間ごとに行っており、その区間が堆積時であれば堆積する割合が存在比となり、掘削時であれば原河床の各粒径の存在比が計算に使われる。すなわち、流経別流砂の連続式は次のように表される。

$$\delta \frac{\partial P_i}{\partial t} = -P_i^* \frac{\partial \eta}{\partial t} - \frac{1}{1-\lambda} \left\{ \frac{1}{B} \frac{\partial (q_{bi} B)}{\partial x} + q_{sui} - W_{fi} C_{bi} \right\}$$

$$\begin{cases} P_i^* = P_i : \partial \eta / \partial t \geq 0 \\ P_i^* = P_{i0} : \partial \eta / \partial t < 0 \end{cases}$$

(4)

：交換層厚， P_i ：各粒径の存在比， η ：河床高， λ ：河床材料の空隙率， B ：低水路幅， q_{bi} ：単位川幅当りの各粒径ごとの掃流砂量， q_{sui} ：単位時間単位面積当りの河床からの浮遊砂浮上量， W_{fi} ：浮遊砂沈降速度， C_{bi} ：河床付近の浮遊砂基準点濃度， P_{i0} ：各粒径毎の土粒子が原河床に占める割合

砂流川の洪水では計算でも実測でも、掘削や堆積によって河床が1m前後変動している箇所がある。よって、

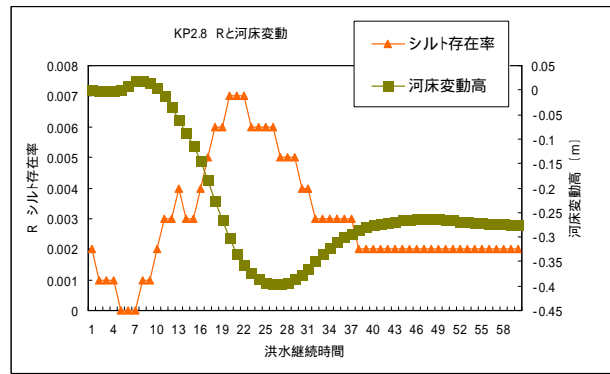


図 - 10 KP2.8 SS 濃度と河床変動

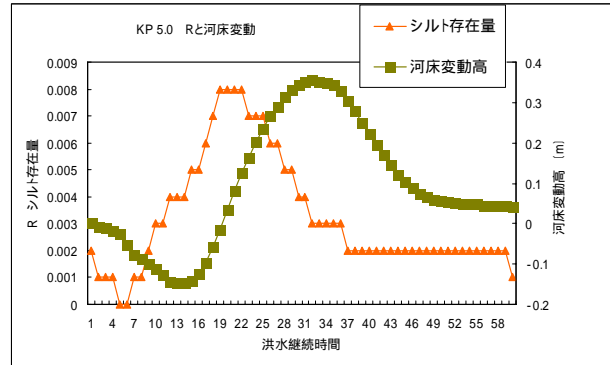


図 - 11 KP5.0 SS 濃度と河床変動

図 - 9 のイメージ図のように原河床の各粒径ごとの存在率が河床内で変動していると SS 濃度の時間的变化に影響を与える。モデルではすべての層において一定値を与えているが、過去の洪水において、堆積する砂の各粒径ごとの存在率と河床の堆積の仕方何らかの関係があれば、その結果を元に原河床を設定したほうが計算の精度が上がると予測できる。

図 - 10 と図 - 11 は KP2.8 と KP5.0 での SS 濃度と河床変動量と現している。両地点で河床高の変動の仕方がかなり違う。しかし河床のシルト分存在率の挙動は、河床の変動に何の関係性も見出せない。他の断面でも河床高とシルト存在率には関係性はなかった。洪水時の河床高の変動は急激であり、河床のシルト存在率はかなり値の変動があるので、原河床にはシルトが高濃度で含まれる層や逆にほとんど含まれない層が存在することが確かめられた。だがそれらの層の形成の仕方には規則性がなく、各地点によって様々であるので、すべての地点に層ごとにシルトの存在率を変えた原河床を設定するのは困難であり、また全河床を通して、層形成の仕方に特徴がなければ、当初の目的から考えて原河床を設定の厳密な必要性はない。よって本研究では、各地点で観測したシルト存在率の値を一定値としてすべての層に与えている。

4. モデルの比較

図 - 12 は同地点における全粒径 SS 濃度の観測値とモデルの計算結果比較である。洪水開始後 7 時間は SS 濃度の観測値はない。しかし洪水 8 時間経過後の値を比較すると計算値の値が小さくなっている。ピーク時では、2000mg/l ほど値が小さい。次にモデルとモデルの SS (シルトのみ) 濃度計算値を比較してみる。図 - 13

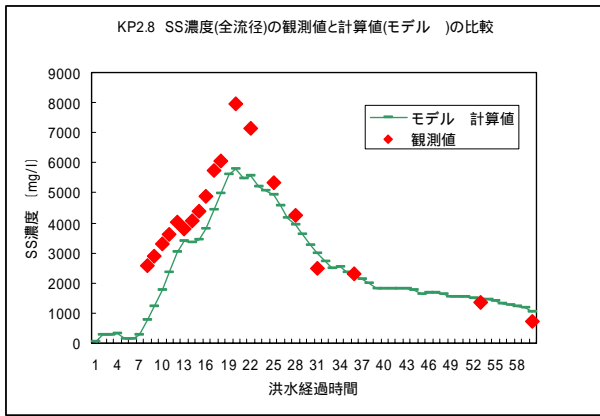


図 - 12 SS 濃度(全粒径)の観測値と計算値の比較

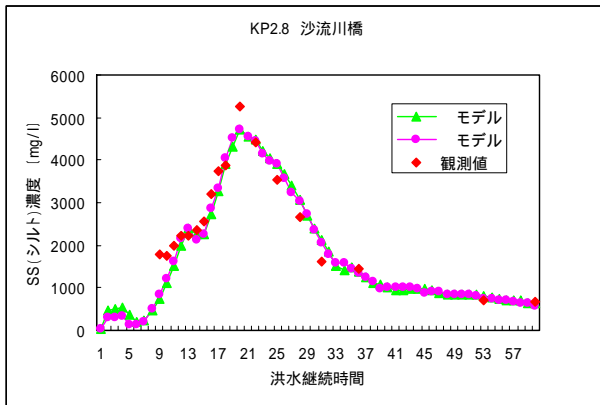


図 - 13 SS 濃度(シルト)の時間変化

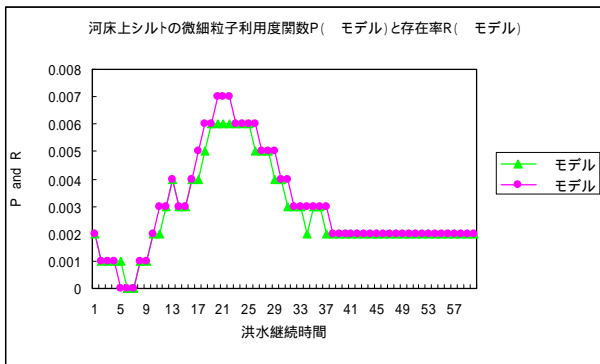


図 - 14 微細粒子利用度関数 P と存在率 R の比較

を見ると、SS 濃度はモデルでもモデルでも全体的に同じような値となっている、図 - 12 の全粒径の場合に見られたピーク時の観測値との値の違いは、小さくなっている。P (微細粒子利用度関数) と R (河床のシルト存在率) の初期値は同じ値にして計算した。モデルの P の方が全体的に多少値が小さいがほぼ同じ挙動をしているとことがわかる。

5. 考察

SS 濃度は移流、拡散、河床とのやり取りによって変化する。図 - 15 は何からの影響によって SS 濃度が変化しているのかを表している。図 - 13 が示すように洪水 7 時間経過後は、移流による影響が大きく、比較すると河床でのやり取りは SS 濃度に影響を及ぼさない。また図 - 14 に示されるように P や R が SS 濃度に比例した挙動を示すのは、移流による高濃度の SS が濃度に比例し

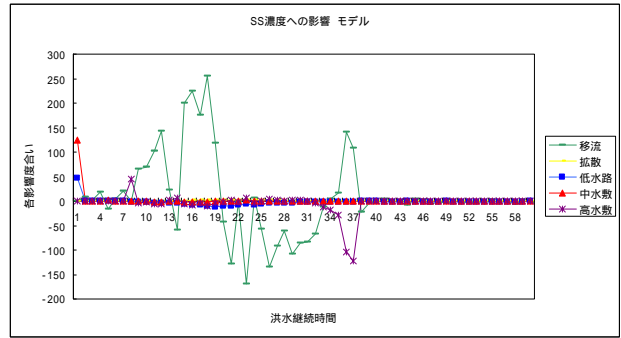


図 - 15 SS 濃度への影響

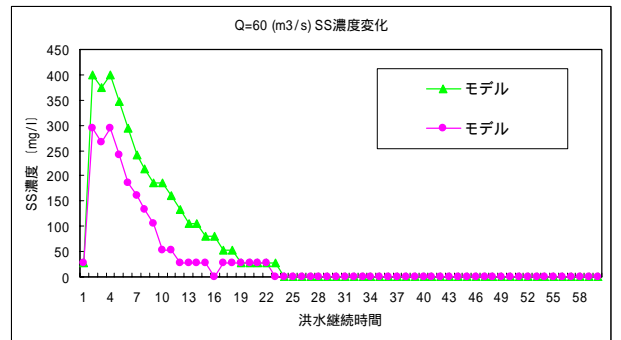


図 - 16 流量が一定の場合の SS 濃度の比較

て堆積するからであると推測される。

洪水開始直後 7 時間は移流による影響はほぼなく、低水路と中水敷の河床のやり取りによる影響が支配的である。よって河床での設定の違いが SS 濃度変化に大きく影響を与えている。しかし、図 - 13 からはモデルの違いによる洪水初期の SS 濃度の変化は良くわからない。

沙流川の豊水流量である $60\text{m}^3/\text{s}$ の一定流量で上流からの SS 流入量を 0 にし、モデルとモデルを比べてみた。結果は図 - 16 のようになった。低流量でも両モデルは同じような挙動している。定量的には違いがありモデルの方が SS 濃度は高く出る。

6. まとめ

この研究では異なる河床設定を用いて洪水時の SS 濃度を求めたが、両モデルでほぼ同じ結果となった。洪水時は高濃度の SS が上流から流れてくるので、河床設定の違いは SS 濃度に影響を与えない。しかし洪水開始直後は高濃度の SS が流れてきていないので、河床の設定が SS 濃度に大きく影響を及ぼす。今後は $100 \sim 500\text{m}^3/\text{s}$ 程度の流量のときの SS 濃度の変化を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 建設省 近畿地方建設局近畿技術事務所：水質調査の基礎知識，1996 年
- 2) 吉川泰弘，渡邊康玄：物質輸送に与える大規模洪水の影響，北海道開発土木研究所月報 No.628 2005 年
- 3) 泉典洋，ピライラーシタン，田中仁：河床上における存在量を考慮した浮遊微細粒子輸送モデル，水工学論文集 第 49 巻 2005 年