

(14) 感潮河川における懸濁物質輸送現象のモデル化に関する研究

A STUDY ON THE MODELING OF SUSPENDED
SEDIMENT TRANSPORT IN A TIDAL RIVER

二渡 了*・楠田哲也*・野正博**

Tohru FUTAWATARI, Tetsuya KUSUDA, Hiroyuki NOMASA,

古賀憲一***・荒木宏之***・古本勝弘****

Kenichi KOGA, Hiroyuki ARAKI and Katsuhiko FURUMOTO

ABSTRACT; A one dimensional simulation model of suspended sediment transport in a tidal river was developed with erosion, deposition, and thickening processes of sediments, and inflow from tributaries. This model uses the explicit leap-frog method and its lower end boundary of the river is extended into the sea to close the boundary for calculation. Laboratory experiments were performed to determine erosional and depositional rates of sediments and to study the sediment thickening process in the river under various concentrations of chlorinity and suspended solids. Numerical simulation results with the parameter values obtained experimentally did not show good agreement with observed data. Modifying the parameter values according to physical phenomena was necessary to obtain good agreement in between. After the modification, computation results during a fortnightly cycle explain satisfactorily the sediment transport phenomena in this river.

KEYWORDS; Suspended sediments, mass transport, estuary, tidal river, simulation, erosion, deposition.

1. 序 論

河川感潮部の河床には大量の底泥が堆積しており、この底泥が懸濁粒子としてあるいは栄養塩類・重金属等のような汚染物質の輸送媒体として水質環境に種々の悪影響を及ぼしている。一方、河口部における水質の悪化は、地域住民の生活環境の維持や水資源としての利用等に大きな制限を与えることになり、早急に水質環境を改善することが望まれ、そのためにも河川感潮部における物質輸送現象を解明することが必要である。しかし、感潮部では流れが河川固有流の他に非定常な潮汐作用の影響を受け、その流況特性は河川によって異なり、また、そこでの底泥や懸濁粒子の挙動は、それらの巻き上げ・沈降といった鉛直輸送を伴い、一層複雑なものとなっている。さらに、潮汐現象では約2週間を周期に潮相(大潮、小潮)が変化し、長期的な水質予測も困難である。

本研究では、実感潮河川を対象に、懸濁物質の輸送モデルを一次元不定流モデルとして考え、基礎資料を得るための現地観測を行うとともに、諸パラメータを決定するための底泥の巻き上げ・沈降現象に関する室内実験を行いながら検討を加えた。さらに、2週間程度の底泥・懸濁粒子の挙動についての数値シミュレーションを行い、感潮河川における懸濁物質の輸送現象の解明を行った。

* 九州大学工学部水工土木学教室 Dept. of Civil Engineering Hydraulics, Kyushu Uni.

** 日水コン水環境事業部 Aquatic Research Dept., Nihon Suido Consultants Co., LTD.

*** 佐賀大学理工学部建設工学教室 Dept. of Civil Engineering, Saga Uni.

**** 長崎大学工学部土木工学教室 Dept. of Civil Engineering, Nagasaki Uni.

2. 物質輸送モデル

2.1 対象河川のモデル化

本研究で対象とした六角川は、佐賀県白石平野を流れ、有明海湾奥部に注いでいる。有明海は国内有数の干満差を示し、六角川河口部での潮差は5mにも達する。また、河道内や沿岸部には有明粘土からなる泥干潟が広く分布し、六角川感潮部では他河川に比べSS濃度がかなり高いのが特徴である。六角川感潮部は、Fig. 1に示すように、河口より5 Km程上流のところで支川牛津川が合流しており、本川では河口より29 Km上流まで、支川牛津川では合流点より14 Km上流までが感潮区間となっている。現地観測は、六角川及び牛津川感潮部を対象に昭和58年11月より現在まで10数回にわたって実施しており、河川感潮部における懸濁物質等の挙動について検討を行ってきた^{1), 2)}。現地観測では、河道方向に5ヶ所の観測点を設け、水深方向に1~2m間隔の数点で計器測定及び採水を行い、水位、流速、塩分、SS濃度等を測定した。これより本感潮部における懸濁物質は、潮汐による水塊の移動に伴って、底泥の巻き上げ・沈降を繰り返しながら河道方向に輸送されていることが明らかになっている。

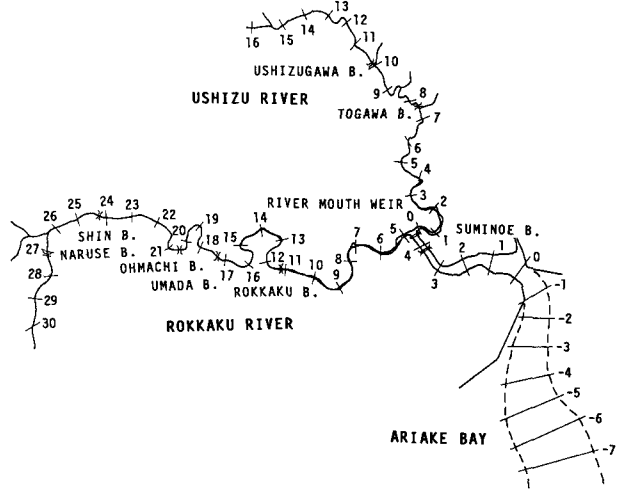


Fig.1 Map of the River Rokkaku
Figures are the distance(km) from
the river mouth and the junction.

感潮河川における流れや物質輸送現象のモデル化には種々の方法があり、そのモデルの選択にあたっては、実際の対象水域における水理学的・物理学的な特徴を取り入れ、現象解析の目的に応じてモデルの選択が必要がある。本感潮部での塩分の混合形態は、Hansen & Rattrayの成層循環図に従って整理すると強混合型となり⁸⁾、流れに及ぼす成層や密度流的な効果は小さくなっている。また、本研究は、懸濁物質の物理的な巻き上げ・沈降特性に検討を加えつつ、河道方向への物質輸送現象のモデル化について考察しようとするものであり、モデルの次数の増加に伴い任意定数の個数も増加し、計算値と実測値の対比により諸パラメータを決定することも困難となってくることが考えられる。したがって、本研究では感潮河川における物質輸送現象を一次元不定流モデルとして取り扱うことにした。また、感潮部での物質輸送現象は、感潮部全域を対象とする必要があり、本川六角川に支川牛津川を加えた六角川水系を数値計算の対象領域とした。

2.2 基本式及び計算方法

本研究で取り扱ったのは一次元不定流モデルであり、本感潮部における流れは懸濁物質の濃度変化による影響を受けないものとして、連続の式及び運動方程式を考え、懸濁物質の輸送には底泥の巻き上げ・沈降を考慮した物質収支式を用いた。これらの基本式は次に示す通りである。

$$\text{連続の式: } \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

$$\text{運動方程式: } \frac{1}{gA} \frac{\partial (Av)}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial (Av^2)}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 |v| v}{R^{4/3}} = 0 \quad (2)$$

$$\text{物質収支式: } \frac{\partial (AC_{ss})}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (Av C_{ss}) + \frac{\partial F_s}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} (AD \frac{\partial C_{ss}}{\partial x}) + A \Sigma S_j (C_j) + F_e \frac{A}{R} + F_e B + q' \quad (3)$$

H ; 水位 [TP.m]	A ; 流水面積 [m^2]	R ; 径深 [m]
B ; 川幅 [m]	Q ; 流量 [m^3/s]	v ; 断面平均流速 [m/s]
C_{ss} ; SS濃度 [g/l]	n ; 粗度係数 [$\text{s}/\text{m}^{1/3}$]	D ; 乱流拡散係数 [m^2/s]
F_e ; 巻き上げフラックス [$\text{Kg}/\text{m}^2\text{s}$]		F_d ; 沈降フラックス [$\text{Kg}/\text{m}^2\text{s}$]
F_s ; シア効果による付加フラックス [Kg/s]		
$S_j(C_j)$; j なる物質から SS への内部変換速度 [$\text{Kg}/\text{m}^3\text{s}$]		
q ; 横流入量 [m^3/ms]	q' ; 流入フラックス [Kg/ms]	g ; 重力加速度 [m/s^2]
x ; 距離 [m]	t ; 時間 [s]	

剪断流下における底泥の巻き上げ・沈降は底面摩擦速度の値によって区分され、式(3)における巻き上げフラックス及び沈降フラックスは次式で与えられる⁴⁾。

$$\text{巻き上げフラックス : } u_* < u_{*e} \text{ のとき } F_e = 0 \quad (4)$$

$$u_* \geq u_{*e} \text{ のとき } F_e = \alpha (u_*^2 / u_{*e}^2 - 1)^m \quad (5)$$

$$\text{沈降フラックス : } u_* \leq u_{*d} \text{ のとき } F_d = -w C_{ss} \quad (6)$$

$$u_* > u_{*d} \text{ のとき } F_d = 0 \quad (7)$$

u_* ; 底面摩擦速度 [m/s] α ; 巻き上げ速度係数 [$\text{Kg}/\text{m}^2\text{s}$]

u_{*e} ; 巻き上げ限界摩擦速度 [m/s] m ; 定数

u_{*d} ; 全沈降限界摩擦速度 [m/s] w ; 沈降速度 [m/s]

ただし、底面摩擦速度 u_* は、

$$u_*^2 = g n^2 v^2 / R^{1/3} \quad (8)$$

連続の式、運動方程式の差分化には Leap-Frog法を用いた⁵⁾。分合流点での計算は、水位及び流量に対する条件式と運動方程式を連立させて解いて行った⁶⁾。これらの差分方程式の安定条件としての C.F.L. 条件、

$$\Delta x / \Delta t \geq (\sqrt{gh} + |v|) \quad (9)$$

$$h = 4\text{m}, |v| = 1\text{m/s} \text{ とすると, } (\sqrt{gh} + |v|) \div 7\text{m/s}$$

を満足するように、水理量の計算では $\Delta x = 600\text{m}$, $\Delta t = 60\text{s}$ とし、Fig.2 に示すように流量グリッドと水位グリッドを 600m 間隔に交互にとった。また、物質収支式の移流項の計算には Up-Stream法を用いた⁵⁾。SS濃度の計算では $\Delta x = 1200\text{m}$, $\Delta t = 240\text{s}$ とし、さらに沈降時の SS 量の計算精度を高めるため、計算領域のいずれかの地点で沈降が起こるとき、すなわち $u_* \leq u_{*d}$ となったときには $\Delta t = 60\text{s}$ で計算を行った。さらに、下流側境界の設定にあたっては、満潮時に河により上流側にある河川水が干潮時に対象領域から流出し得ない充分な空間容積をもたせるために、有明海域の六角

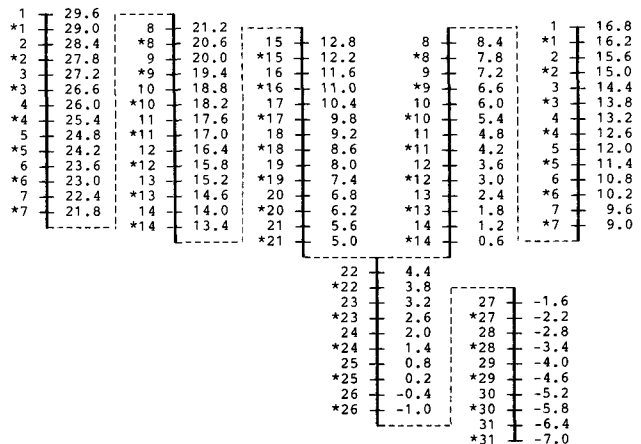


Fig.2 Computation grid
Mark *shows the grid for water level
and other are for water discharge.

川の滞筋に沿って仮想的な河道を延長することにし、河口より7Km地点を計算対象領域の下流端とした。

数値計算は、まず一周期について行い、諸パラメータを決定した。一周期の計算手順をFig.3に示す。建設省による断面測量データを基に、各断面毎に水位に対する断面積及び径深、河幅を定めた。なお、河口より外域では、等深線図より横断面形を求め、同様に各断面での断面積等を定めた。水理量の計算における初期条件は、満潮位を全川レベルで与え、各断面の流量を零とした。境界条件は、上流端で流量を、下流端で実測の水位を与えた。一方、SS濃度の計算では、現地観測資料に基づいて満潮時の各濃度を初期条件とし、境界条件として上・下流端で実測の断面平均濃度を与え、さらに、上・下流端ではSSの流入がないものとしている。なお、本川（六角川、牛津川）流量に比べ支川の固有流量は小さく、連続の式における横流入量、及び物質収支式の流入フラックスはないものと考えた。SS濃度計算の際には、SSの乱流拡散係数、及びSS濃度と流速の断面平均値からの偏りに起因するシア効果による付加フラックスが、流水断面積や流速の時間的変化等によるものより極めて小さいこと³⁾から、これらを無視した。また、内部変換による物質濃度変化もないものとした。これらの条件の下で、まずマンギングの粗度係数を区間毎、流向別に仮定し、水理量（流量・水位）の計算を行い、計算された水位が実測値と一致するまで粗度係数の修正を行った。次に、塩分濃度の計算では、本感潮部水塊中での塩分濃度分布は固有流量が変らない限りほぼ定常的に定まっていることが過去の現地観測結果により知られているので²⁾、これらの観測結果による塩分濃度分布に基づき上流端からの累加水量に応じて与えた。SSは停潮時に沈降すると、堆積物として鉛直方向に含水比の分布を形成する。この含水比の鉛直分布は圧密に起因するため、連続的ではあるが、後述するように大きく変化するところがある。したがって、簡略化するために、ここでは底泥を含水比に応じて二種に分け、上層にある含水比の相対的に高いものを浮泥、下層にある含水比の低いものを下層底泥、双方を合せて底泥と称することにする。したがって、一旦下層底泥化したものも、比較的大きな底面剪断応力が作用すると再び巻き上げられるものとした。SS濃度の計算では、計算値と実測値が一致するように、浮泥初期堆積量、底泥の巻き上げ速度及び懸濁物質の沈降速度を修正した。この浮泥初期堆積量は、巻き上げ時に上層水中へ急速に輸送され得る量を表すものであり、各断面毎に定めることにした。

以上のようにして、一周期間の水理量及び塩分・SS濃度の計算を行い、諸パラメータを定めた上で、長期間の計算を同様に水理量、塩分・SS濃度の順に行った。

3. 諸パラメータの決定のための室内実験

河川感潮部に存在する底泥の巻き上げ及び懸濁物質の沈降特性は、河川によって異なり、それらの速度式の諸定数は室内実験によって求めるのが容易である。したがって、本研究では現地試料を用いた巻き上げ・沈降実験を行い、底泥の巻き上げ速度及び懸濁物質の沈降速度を実験的に定めた。また、下層底泥化速度を求めるための沈降圧密実験を行った。

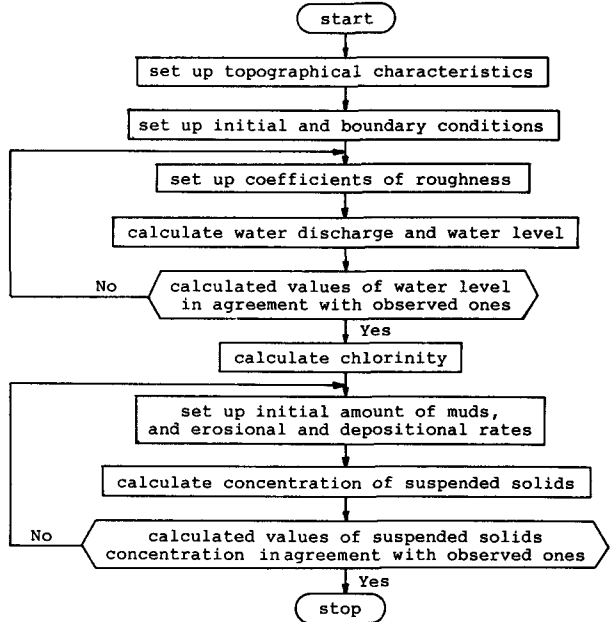


Fig.3 Flow chart of calculation for one tidal cycle

3.1 巻き上げ実験

実験には円形回転水路を用いた。実験は、所定の含水比に調整した試料を予め水路床に厚さ2cmに均一に敷き、所定の濃度の塩水を実水深15cmまで底泥を乱さぬように注入した後、水路を所定の速度で回転させて行った。試料には、六角川六角橋地点において採取した現地底泥を用いた。なお、各実験の開始時には、水路の回転速度を徐々に上げていき、底泥表層の粒子の移動がみられたときの回転速度より剪断応力を求め、これを底泥の巻き上げの限界剪断応力とした。実験中経時的に採水を行い、SS濃度の経時変化を求め、巻き上げフラックスを算定した。巻き上げフラックスは式(4)において $m = 1.7$ とした形で整理でき、これより巻き上げ速度係数を求めた。この巻き上げ速度係数と塩分濃度の関係はFig.4のようになり、巻き上げ速度係数は塩分濃度 C_{cl} の関数として次式が得られた。

$$C_{cl} \leq 4.37 [g/l] \text{ のとき } \alpha = (-0.375 C_{cl} + 2.609) \times 10^{-4} [Kg/m^2 s] \quad (10)$$

$$C_{cl} > 4.37 [g/l] \text{ のとき } \alpha = (-4.38 \times 10^{-3} C_{cl} + 0.99) \times 10^{-4} [Kg/m^2 s] \quad (11)$$

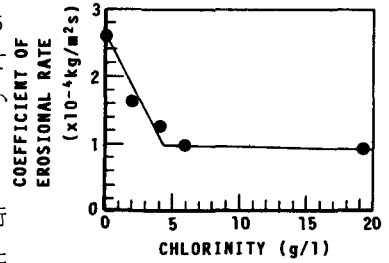


Fig.4 Relationship between coefficient of erosional rate and chlorinity

3.2 沈降実験

実河川での懸濁物質の沈降は、流速が低下したときにも起こっているが、流向反転時の停潮時の数10分間にその大半が沈降している。したがって、ここでは円形回転水路を用いた剪断流下での沈降実験は行わず、沈降筒による静水中での実験を行った。実験には高さ3mのアクリル樹脂製の沈降筒を用い、試料には六角川六角橋地点において採取した上層懸濁液を沈降濃縮して用いた。実験では、所定の塩分及びSS濃度の懸濁液の沈降重量を経時的に測定し、各濃度に対する沈降速度を算定した。その結果、沈降速度は塩分濃度が変化しても大きな違いはなく、SS濃度のみに依存し、Fig.5に示すような結果となった。これより、沈降速度は次式のようにSS濃度の関数として表した。

$$C_{ss} < 0.125 [g/l] \text{ のとき } w = 0.357 \times 10^{-4} [m/s] \quad (12)$$

$$C_{ss} \geq 0.125 [g/l] \text{ のとき } w = (7.407 \log C_{ss} + 7.100) \times 10^{-4} [m/s] \quad (13)$$

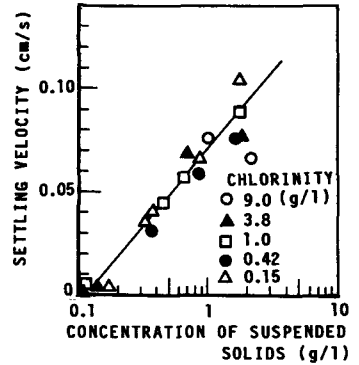


Fig.5 Relationship between settling velocity and concentration of suspended solids

なお、沈降速度は懸濁粒子の粒度分布、密度等にも依存する。本感潮部においても浮遊している懸濁粒子の特性は時間・場所的に変るが、ここでは、SS濃度の変化による沈降速度の変化が河川での沈降現象を主に支配するものとして実験式を使用することにした。

3.3 沈降圧密実験

所定のSS濃度の懸濁液(塩分濃度5g/l)を高さ2mの沈降筒で一定時間沈降させ、沈降して出来た底泥を層状に採取して、底泥の含水比の鉛直分布を求めた。なお、実験に用いた試料は、巻き上げ実験時のものと同一である。本河川での沈降現象は数10分程度しか起こっておらず、実験での沈降時間として30分を採用した。また、現地底泥の含水比の鉛直分布測定結果より、含水比200%程度を前後として大きく変化しており、含水比200%以上のものが毎上げ潮、下げ潮時に巻き上げられているとみられる。実験において底泥の含水比が200%以下となったものが下層

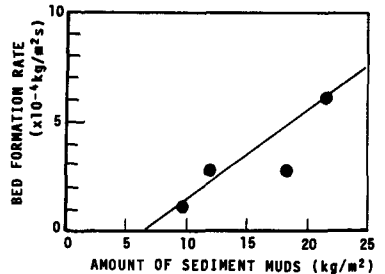


Fig.6 Relationship between the bed formation rate and the amount of muds

底泥化するものとして下層底泥化速度を算定し、上層水中の単位面積当りの懸濁物質 M と下層底泥化速度 F_b の関係を求めた。これらの関係は Fig.6 のようになり、次式で表される。

$$M \leq 6.4 \text{ [Kg/m}^2\text{]} \text{ のとき} \quad F_b = 0 \text{ [Kg/m}^2\text{s]} \tag{14}$$

$$M > 6.4 \text{ [Kg/m}^2\text{]} \text{ のとき} \quad F_b = 4.0 \times (M - 6.4) \times 10^{-4} \text{ [Kg/m}^2\text{s]} \tag{15}$$

4. 計算結果及び考察

4.1 一周期間の計算によるパラメータの決定

満潮から次の満潮までの一周期間についての計算を現地調査を行った日時に合せ、六角川は昭和59年7月17日(大潮)、牛津川は同61年9月4日(大潮)について行った。なお、SS濃度の計算では、従来の研究成果⁴⁾より浮泥の巻き上げ限界摩擦速度を0.03m/s、下層底泥のものを0.04m/s、懸濁物質の沈降限界摩擦速度を0.005m/sとしている。

水位の計算結果を Fig.7, 8 に示す。このように、満潮の時刻は上下流ともほぼ一致するが、干潮時刻は上流側程遅くなっている。また、上流部では下げ潮後半には水位がほとんど変化せず、固有流に基づく流れがみられる。

一次元の計算では、流れを大きく支配する要素は Manningの粗度係数であり、全体の流れを規定する抵抗係数として作用する。本計算での水位を実測値と一致するように合せたときの粗度係数を Table-1, 2 に示す。下げ潮では六角川上流部での粗度係数が大きくなっているが、これは河道の湾曲によるものと思われる。一方、上げ潮では河床勾配の変化に応じて上流側程その値が大きくなっている。

次に、SS濃度の計算結果の一例として六角川のものを Fig.9, 10 に示す。Fig.9 は11.0Km(六角橋)地点、Fig.10は20.6Km(大町橋)地点のものである。図中に示す実測値は、水深方向に数点で測定したSS濃度より求めた断面平均値である。ここでは、計算値が実測値に一致するように実験により求めた底泥の巻き上げ速度、懸濁物質の沈降速度の修正を行った。また、実際の底泥の巻き上げは底泥が存在する限り生じるものではなく、時間の経過に伴う底泥表層の硬化現象等によって、底泥は巻き上げられにくく、あるいは巻き上げが停止するようになる。そこで、計算では巻き上げ継続時間を設定することとした。実験値をそのまま用いたCASE1では、巻き上げ量及び沈降量にそれぞれ不足がみられた。CASE3のように巻き上げ速度を実験値の10倍、同じく沈降速度を2倍とし、巻き上げ継続時間を60分に設定したときが最も実測値に一致するよう

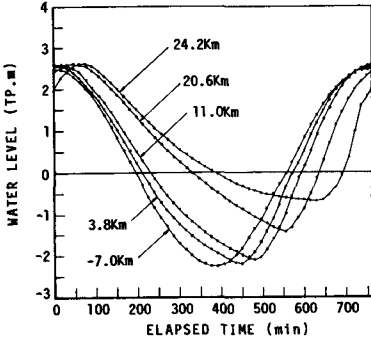


Fig.7 Temporal change of calculated water level in the River Rokkaku

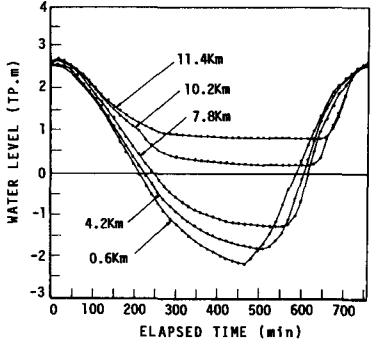


Fig.8 Temporal change of calculated water level in the River Ushizu

Table 1 Coefficients of roughness in the River Rokkaku

Section	-7.0~0.2	0.2~11.0	11.0~20.6	20.6~24.2	24.2~29.0
Ebb	0.020	0.020	0.032	0.030	0.028
Flood	0.017	0.020	0.024	0.028	0.038

Table 2 Coefficients of roughness in the River Ushizu

Section	0.6~7.8	7.8~10.2	10.2~16.2
Ebb	0.020	0.028	0.028
Flood	0.020	0.025	0.025

になった。これは、巻き上げ時では、実験時の底泥の含水比よりも実河川の底泥の含水比が高いこと、巻き上げ現象が進行するに伴い底泥の硬化現象が起り巻き上げ可能な底泥量が減少すること、沈降時では穏やかな剪断流下におけるSSの沈降速度は、粒子間の凝集が促進され、静水中での沈降速度より大きくなること、底泥に有効に作用する剪断応力は計算で求められるものより小さいこと、等が考

えられる。このように、室内実験により定めた諸パラメータの値は、実際の河川で生じている状況よりはかなり条件が整理されたところで得られたものであり、実河川を対象とする数値計算では、それらの値について検討し、修正する必要がある。

4.2 長期シミュレーションによる懸濁物質の輸送現象の検討

一周期間の計算によって決定したパラメータを用いて大潮から次の大潮までの30周期間連続して数値計算を行い、長期的な懸濁物質の挙動について検討した。計算は、昭和61年9月4日満潮時から9月20日満時までの30周期について行った。下流端の境界条件として、有明海実測潮位を与え、この地点でのSS濃度を常に零としている。

Fig.11に六角川5.6Km, 11.6Km, 21.2Km地点のSS濃度経時変化を示す。下流側では、満潮時に比べ干潮時の停潮時間が短いため、上流側程干潮時のSS濃度の低下は顕著でないが、満潮時には懸濁物質の沈降が大きくSS濃度がかなり低くなっている。一方、上流側では干潮時の方がSS濃度は低く、懸濁物質の沈降が大きい。また、停潮時にSS濃度が低くなる時刻は、満潮では3地点ともほぼ同時刻であるが、干潮では上流側程遅れている。次に、Fig.12, 13は、一周期のSS濃度の変化を河道方向にみたものを第1周期、第7周期について示したものである。これらの図より、流れに応じてSS高濃度塊(Turbidity Maximum)が底泥の巻き上げ・沈降を伴いながら上下流方向へ移動しているのが解る。

長期的なSS濃度の変化は、主に底泥の巻き上げ量の時間的な変化に支配されており、さらにそれは流れの特性と底泥の特性の影響を受けている。本モデルでは、沈降堆積したSS

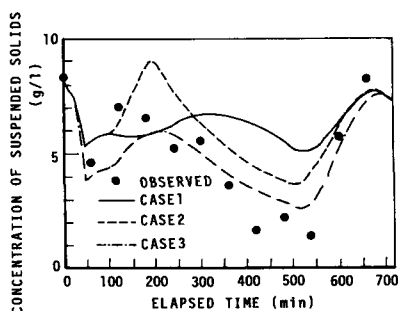


Fig.9 Temporal change of suspended solids concentration (The River Rokkaku, 11.0km, July 17, 1984.)

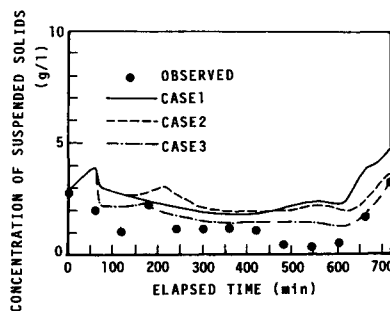


Fig.10 Temporal change of suspended solids concentration (The River Rokkaku, 20.6km, July 17, 1984.)

- CASE1: the experimental values of depositional and erosional rates were used,
- CASE2: the experimental value of depositional rate and ten times of the experimental value of erosional rate were used,
- CASE3: double of the experimental value of depositional rate and ten times of the experimental value of erosional rate were used, and the erosional period was set to 60 minutes.

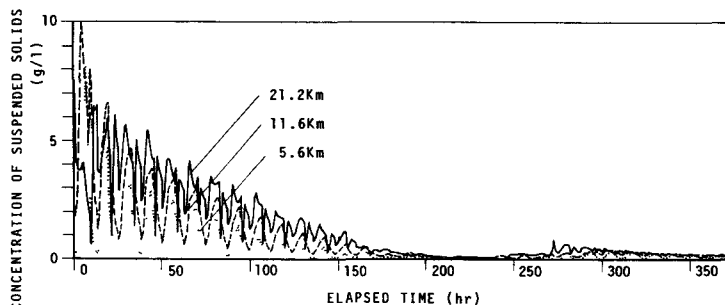


Fig.11 Temporal change of suspended solids concentration in the River Rokkaku

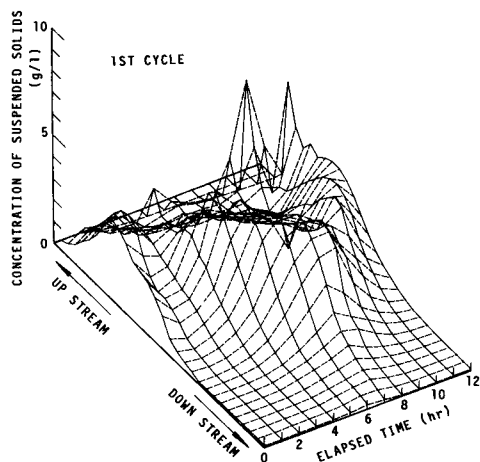


Fig.12 Temporal change of longitudinal distribution of suspended solids concentration (1st cycle)

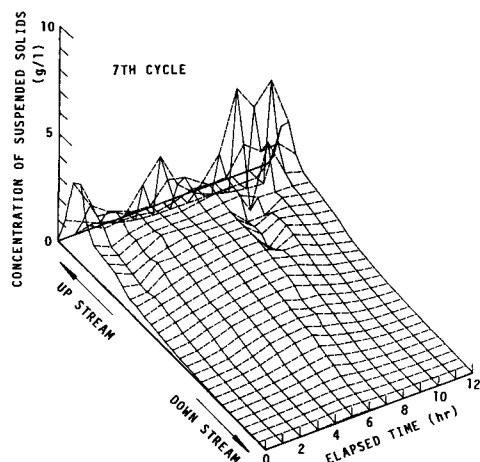


Fig.13 Temporal change of longitudinal distribution of suspended solids concentration (7th cycle)

(浮泥)の一部が下層底泥化し、次周期以降比較的大きな底面剪断応力が作用すると巻き上がるものと考え、流れに応じて浮泥及び下層底泥の巻き上げが式(4)、(5)の巻き上げフラックスの式に従うものとした。Fig.11では、いずれの地点でも大潮～小潮間では一潮汐間のSS濃度の最大値が減少しており、一潮汐間の水位の変化が小さくなることによって流れが変化し巻き上げられる底泥量が減少するものと考えられる。しかし、小潮から大潮へと水位の変化が大きくなっても、全体的なSS濃度は大きくなっていない。これは、懸濁物質の下層底泥化が生じ、巻き上げられにくくなっているためと考えられる。底面摩擦速度より定められる、底泥の巻き上げ・沈降の時間・空間的な領域分布を第1周期についてFig.14に示す。この図より、満潮時に沈降する領域が大きく干潮時のそれは下流より上流へと順に生じており、また、中流部では摩擦速度が大きく、巻き上げが生じることが解る。

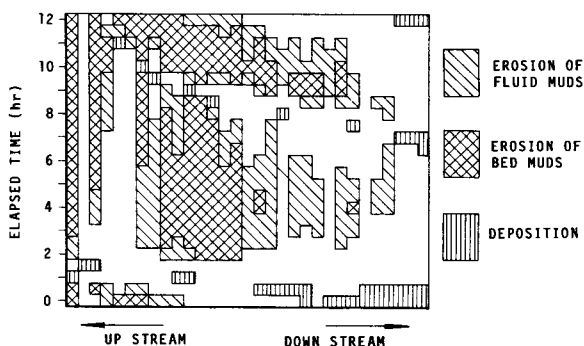


Fig.14 Distribution of erosion and deposition area

次に、Fig.15に六角川上記3地点における浮泥量の経時変化を示す。浮泥量は時間の経過とともに減少している。しかし、こ

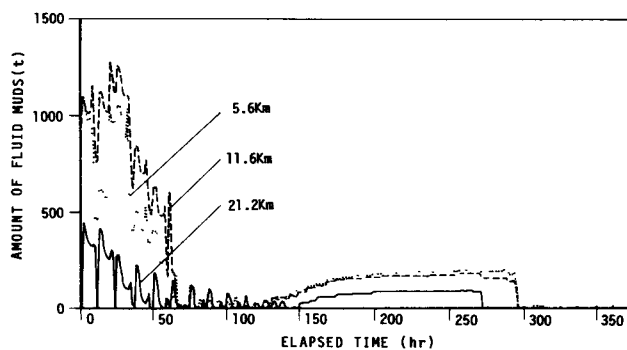


Fig.15 Temporal change of the amount of fluid muds in the River Rokkaku

の浮泥量の減少は必ずしもその地点での下層底泥化を示すものではなく、他の地点へ輸送され下層底泥化していることも考えられる。そこで、河道方向への浮泥量の輸送状況について詳細にみるために、下層底泥化速度を零とおいて計算を行った。そのときの各満潮時における河道方向の浮泥量の分布を六角川のものについてFig.16に示す。この図では、時間の経過に伴い浮泥量の分布が変化し、2周期目以降浮泥量すなわち底泥堆積量の増加がみられるところが数地点存在していることがわかる。これらの地点は、いずれも相対的に水深が大きく、周囲に比べ同一水位に対する断面積が大きくなっており、流速が常に小さくFig. 14でも示されるように沈降しか生じないようなところである。物質輸送モデルを一次元として取り扱う際には、このようなところで流れが緩やかになり、底泥の巻き上げ速度を支配する底面摩擦速度が小さくなるために、懸濁物質の沈降しか生じないようになっている。しかし、実際の河川では不連続な河床勾配が存在しており、このことは一次元モデルでは把握できない局所的な流れが存在するためと考えられる。本研究で取り扱った一次元不定流モデルにおいて、このような局所的な流れの影響をどのように評価するかについては、今後さらに検討する必要がある。

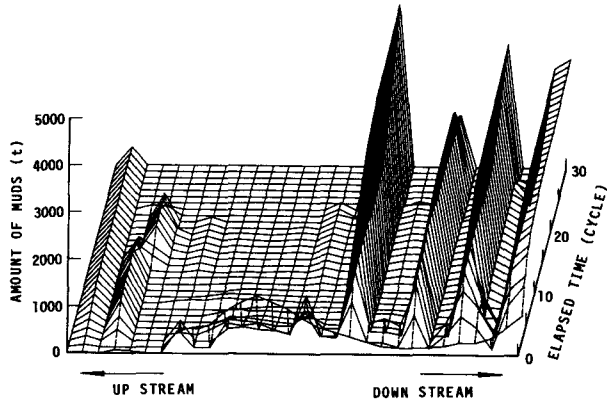


Fig.16 Temporal change of longitudinal distribution of the amount of muds in the River Rokkaku

なっており、流速が常に小さくFig. 14でも示されるように沈降しか生じないようなところである。物質輸送モデルを一次元として取り扱う際には、このようなところで流れが緩やかになり、底泥の巻き上げ速度を支配する底面摩擦速度が小さくなるために、懸濁物質の沈降しか生じないようになっている。しかし、実際の河川では不連続な河床勾配が存在しており、このことは一次元モデルでは把握できない局所的な流れが存在するためと考えられる。本研究で取り扱った一次元不定流モデルにおいて、このような局所的な流れの影響をどのように評価するかについては、今後さらに検討する必要がある。

5. 結 論

本研究では、六角川感潮部を対象に、底泥の巻き上げ・沈降特性を考慮しつつ懸濁物質の濃度変動の数値計算を行い、感潮河川における懸濁物質の輸送現象のモデル化について検討してきた。本研究の一つの目的は、感潮河川において長期的な水質予測を行う際のモデル化及び計算手法を呈示することにあった。そこで、最後に本研究で用いたモデル及び計算手法に関する問題点についての考察を行い、本研究の結論とする。

(1) 一次元不定流モデルとしての取り扱い

最近では、計算機の発達により二次元あるいは三次元モデルを用いた研究も多くみられるが、本研究であえて一次元モデルを用いたのは、物理現象の数式的表現を簡略化し、応用面での取り扱いを簡素化するためであった。しかし、一次元としたために、現象の把握が不十分にならざるを得ないところもあった。例えば、二次元モデルでは拡散現象を鉛直拡散と水平拡散とに分けて考え、懸濁物質の鉛直輸送について検討することが可能である。また、混合現象での渦のスケールと計算差分の大ききとの関係から、計算の上で表現できる現象は制限される。しかし、強混合河川の場合の河道方向への物質輸送現象を扱うには、本研究で示したような一次元モデルによる記述で十分な成果が得られるものと考えられる。

(2) 実河川での懸濁物質の巻き上げ・沈降現象と室内実験によるパラメータの決定

底泥・懸濁物質の巻き上げ・沈降現象に関しては、実河川と実験室内とは生じる現象は同じでも、その現象を支配する要因、つまりパラメータの数は当然実河川の方が多くなる。数値計算を行うにあたっては、現象記述式におけるパラメータの値をいかに正確に、また簡便に求めるかが問題となってくる。しかし、(1)で述べた計算手法の簡素化とこの記述式的的確化とは相反するものであり、目的に応じてこれらのバランスが調整されるべきである。さらには、本研究で示したように、現地試料を用いた室内実験によって得られた数値を使用しても、数値計算結果と実際の観測結果とは今なお隔たりがあり、今後さらに検討する必要がある。

(3) 長期的水質予測のための現地観測資料の収集

感潮河川のように非定常な現象によって支配されている水域では，そこでの長期的な水質予測のための現地観測資料をどのように集めるかが重要である。流量，水位等の水理量を除けば，河川水質データは現在のところ月1回の調査によって測定されているだけであり，長期的な水質予測手法の開発のためには不十分である。本研究においても，長期間の計算結果と実測値との比較が出来ず，モデルの精度等についての検討は行えなかった。連続した長期的な水質観測のための観測方法，観測計器等が早急に発案されることが望まれる。

最後に，本研究を遂行するにあたり，種々便宜を計って下さった建設省武雄工事事務所をはじめとする関係者各位に心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1)二渡，楠田，栗谷，古賀，古本；六角川感潮部における水質変動特性，土木学会第13回環境問題シンポジウム講演論文集，pp.38-43, 1985.8。
- 2)二渡，楠田，栗谷，古賀，古本；六角川感潮部における水質変動特性(Ⅱ)，土木学会第14回環境問題シンポジウム講演論文集，pp.40-45, 1986.8。
- 3)二渡，楠田，栗谷，古賀，古本；感潮河川における物質輸送機構，九大工学集報，第60巻第4号，pp.419-426, 1987.8。
- 4)楠田，海田，栗谷，石原；底泥の巻き上げと沈降に関する基礎的研究(Ⅱ)，土木学会第18回衛生工学研究討論会講演論文集，pp.152-157, 1982.1。
- 5)野正，二渡，楠田，栗谷；感潮河川における懸濁物質の輸送過程のシミュレーション，九大工学集報，第58巻第1号，pp.33-40, 1985.1。
- 6)土木学会編；水理公式集（昭和46年改訂版），pp.186-187, 1971.11。