

# 簡易モデルによる中小河川の砂州フラッシュ予測

植木 昱郎\*・小林 健一\*\*・高木 利光\*\*\*・増田 巧見\*\*\*\*

## 1. はじめに

外洋に面した砂浜海岸に河口部を持つ中小河川においては、その河口部に砂州が発達し、平時の流量では砂州の発達により完全閉塞に近い場合も発生する。そのような河川においては出水時の治水安全性が確保されない場合がある。しかし、出水時の流量ピーク到達以前に砂州が十分にフラッシュされれば、河口砂州は天然の防波堤として塩水や波浪の遡上を阻止するため、砂州の存在を前提として河道計画を行うことが可能である。

本研究ではこのような河道計画を策定する場合において必要となる洪水時の砂州のフラッシュ状況を検討する数値モデルを提案する。砂州フラッシュモデルは通常の河道 1 次元の河床変動計算として扱われたり、また近年では平面二次元計算として洪水流況場により地形変化を求める方法で行われている (佐藤・首藤, 1992; 桑原・田中, 1994; 伊福ら, 1994)。平面計算の特徴として、平面的な河口部の地形を考慮した計算が可能であり、汎用性が高い点である。しかし、計算労力がかかるため、多くの計算ケースが必要な場合には難がある。

中小河川に見られる多くの河口砂州は、片岸から河道を横断するように発達しており、河口は左右岸どちらかに開口している場合が多い。このような河口砂州を有する河川では、洪水初期において砂州の側面を侵食するようにフラッシュが進み、洪水流量の増大に伴い、水位が上昇し、砂州全体が冠水するに至ると、今度は砂州全面にわたってフラッシュが生じる。そこで、このような砂州フラッシュ形態をモデル化することで、河道 1 次元不等流計算と組み合わせた簡易砂州フラッシュモデルをここに提案する。提案にあたっては、新潟県柏崎市を流れる鱈石川の河口において実施した現地観測の成果を基にモデルの有効性を示す。

## 2. 鱈石川河口の概況

鱈石川は新潟県東頸城郡松代町に源を発し、北流し柏崎において日本海に注ぐ、流域面積 277 km<sup>2</sup>、流路延長 153 km の 2 級河川である (図-1)。その河口部は柏崎港と東京電力柏崎刈羽原子力発電所に挟まれた荒浜のほぼ中央部に位置する。現在、河口左右岸には導流堤があるものの、河口部には左岸側より砂州が発達しており、河道幅約 100 m に対し開口幅は約 20 m 程度となっている (図-2)。本河川の計画洪水流量は約 1200 m<sup>3</sup>/s であり、現在河道改修が実施されている。

## 3. 現地観測の概況

洪水時の流況を捕らえるために河口より上流約 400 m の位置 (図-3) に水位・流速計を 1997.6~1997.11 の 5 ヶ月間設置して観測を行った。水位・流速計には水圧センサー付自記式電磁流速計を用い、10 分毎に 1 分間 (1 秒

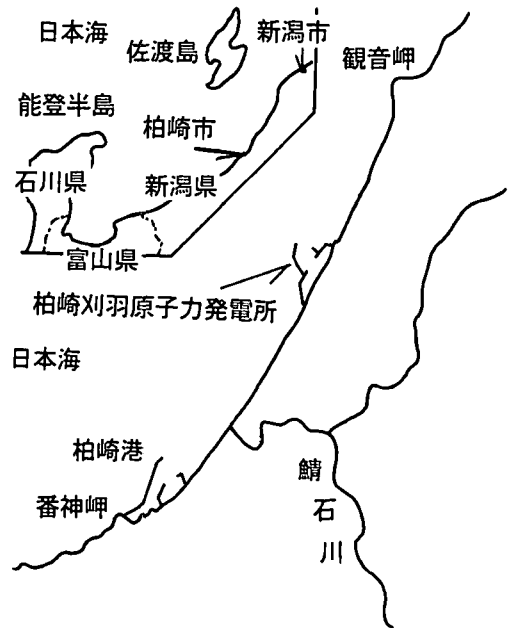


図-1 鱈石川河口位置

\* 新潟県土木部相川土木事務所長  
(前 新潟県土木部柏崎土木事務所長)  
\*\* 新潟県土木部六日町土木事務所道路課  
(前 新潟県土木部柏崎土木事務所治水課)  
\*\*\* 正会員 博(工) (株)アイ・エヌ・エー海岸部  
\*\*\*\* 正会員 (株)アイ・エヌ・エー海岸部

間隔)の連続観測を行い、水位および流速(水平2方向成分)の観測を行った。1地点の水位・流速観測データから流量を算出する方法として、小規模な出水時に2回観測地点の河道断面でプロペラ式流速計を用いて流量観測を実施し、観測流速と流量の相関関係より流量を推定した。観測期間における波浪・潮位データとしては河口から西約2 km 地点の柏崎港のデータを用いた。また、観測期間中3回の地形測量を実施している。なお、2回目の測量は観測期間中で比較的流量の大きかった出水直後の地形を測量している。水位・流量観測結果を図-4、地形変化を図-5に示す。図-4より、小規模な出水も含めて5回の出水が観測されている。最も流量が大きかったのは、6月29日7:00の107 m<sup>3</sup>/s、次いで6月21日5:30の92 m<sup>3</sup>/sであった。また、この時は水位も高く、6月29日8:00にT.P+1.1 m、6月21日5:30に同じくT.P+1.1 mを記録した。砂州フラッシュ時の観察によると、いずれの出水時も、砂州の側面を侵食する形でフラッシュが進行し、砂州全体が冠水する状況には至っていない。

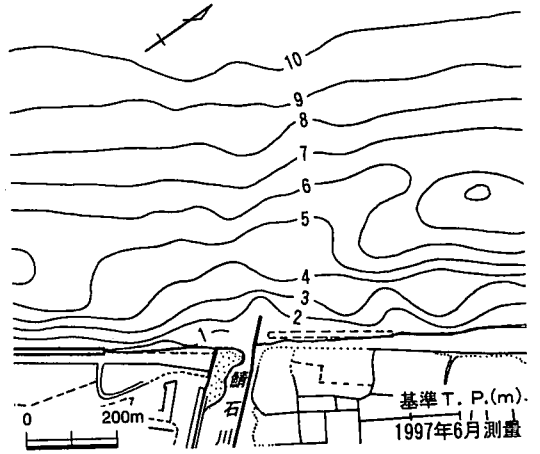


図-2 鱗石川河口部地形

#### 4. 計算モデルの概要

##### 4.1 計算フロー

図-6に計算フローを示す。計算条件を設定するためのデータは、粗度係数、河道地形、潮位波浪、砂州形状、流量である。これらデータを用い、流量 $Q$ を経過時間で

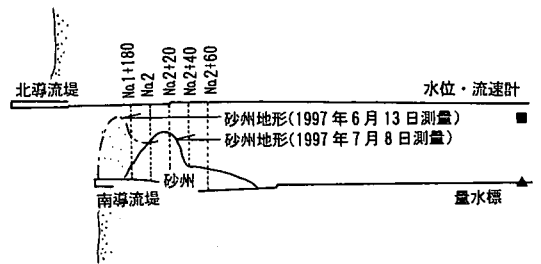


図-3 観測計器設置位置

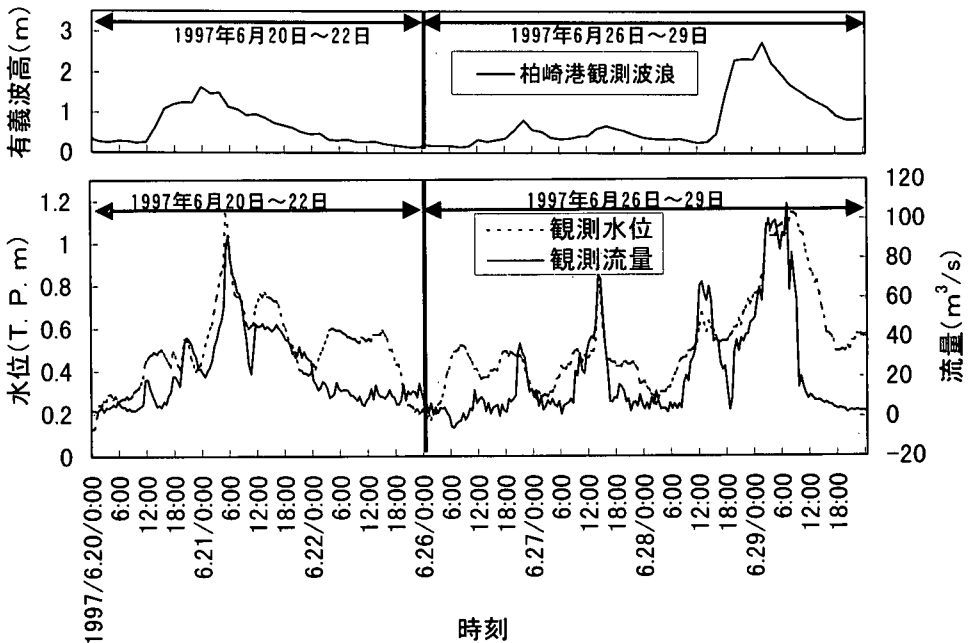


図-4 水位・流量観測結果

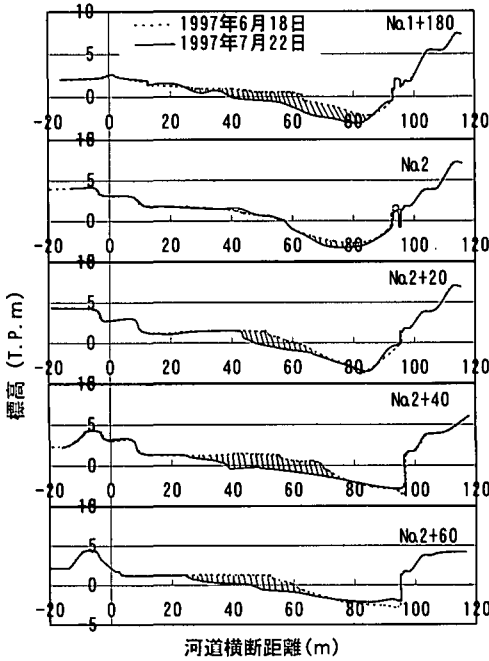


図-5 出水前後の砂州地形変化

変化させながら、不等流計算、流砂量計算、砂州変形計算を順に行う。流量データが終了した時点で計算は終了するものとする。

4.2 水位および流速計算

水位および断面平均流速は1次元不等流計算より算出する。以下に計算式を示す。

エネルギー保存式：

$$\left\{ H_2 + \frac{1}{2g} \left( \frac{Q_2}{A_2} \right)^2 \right\} - \left\{ H_1 + \frac{1}{2g} \left( \frac{Q_1}{A_1} \right)^2 \right\} = h_e \dots (1)$$

$h_e$  はエネルギー損失水頭であり、

$$h_e = \frac{1}{2} \left\{ \frac{n_1^2 Q_1^2}{A_1^3 R_1^4} + \frac{n_2^2 Q_2^2}{A_2^3 R_2^4} \right\} \Delta l \dots (2)$$

で表される。ここに、添字1, 2は下流, 上流断面の諸元を各々表し、各変数は、 $H$ : 水位,  $Q$ : 流量,  $A$ : 通水断面積,  $R$ : 径深,  $n$ : マニングの粗度係数,  $g$ : 重力加速度,  $\Delta l$ : 断面区間距離である。

海域部については、砂州部冠水前は開口部両岸より5°の角度で拡がる仮想河道を仮定した。また、砂州部冠水後は本来の河道幅から同様な方法で仮想河道を仮定した。また、砂州部の上流側についても、冠水前については26°の角度で死水域を設定した。また、砂州の冠水の判定は砂州部上流端の水位と砂州高の比較で判定した。

4.3 流砂量計算

流砂量の算定には不等流計算により求めた砂州部の物理量(流速, 水位, 径深等)を用いる。流砂量算定式は多くの方法が提案されているが、本研究では Kalinske・

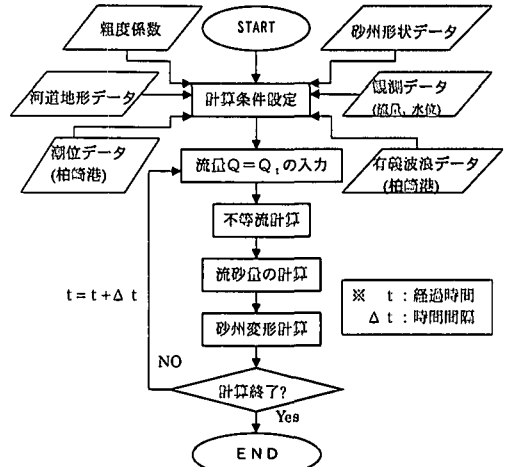


図-6 計算フロー

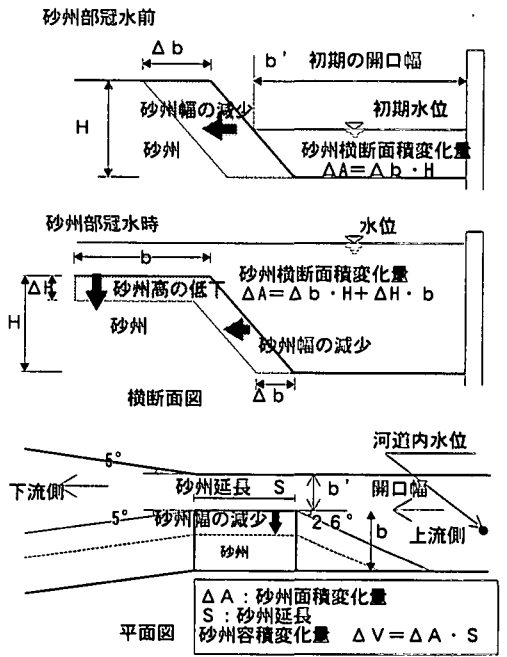


図-7 砂州フラッシュ形態のモデル化

Brown 式の掃流砂式を用いる。Kalinske・Brown 型の式は、粒径が比較的細かく、浮遊砂も多く含まれる条件となる砂州フラッシュ計算には適していると考えられている(山本, 1972)。次式に Kalinske・Brown 型の式を示す。

$$q_B = K \cdot \frac{u_*^5}{(\sigma/\rho - 1)^2 g^2} \cdot \frac{10}{d} \dots (3)$$

ここに、 $q_B$ : 単位幅当りの流砂量,  $\sigma$ : 砂の密度,  $\rho$ : 水の密度,  $u_*$ : 摩擦速度,  $d$ : 砂礫粒径,  $K$ : 流砂量補正係

数である。

4.4 砂州変形計算

当河口での砂州フラッシュ機構として、観測期間中の出水時には砂州の左岸側を削りながらフラッシュしていた。流量がさらに増大した場合河口部水位が上昇し、砂州部が冠水し砂州全体がフラッシュすることが予測される。

表-1 計算条件

項目	計算条件	
対象期間	1997.6.20~22, 26~29	
出発水位	柏崎港潮位	
流量ハイドロ	30分毎の計測データ	
流砂量公式	Kalinske・Brown型式 漂砂量補正係数 $K=0.35$	
砂州形状	初期開口幅	19.8 m
	砂州部河道方向長さ	85 m
	砂州部河床高	T.P. -1.4 m
	砂州高	T.P. +1.5 m
	横断方向勾配	1/10
	底質粒径	$d_{50}=0.74$ (mm)
	空隙率	$\lambda=0.40$
	粗度係数	$n=0.030$
河道地形	川幅	81.2 m
	粗度係数	$n=0.030$
	河床高	実測値(1997.6.18 測量)

ここでは、不等流計算が河川縦断方向に1次元の計算であることからモデル化した砂州を想定し、その砂州形状を河口部の河川横断形状に反映させて計算を進める。そこで、次の2種類の砂州変形の形態に分けて砂州変形のモデル化を行う(図-7)。

冠水前：洪水流は砂州の側面に作用し、河口部水理量より求めた流砂量に相当する体積が砂州の側面を削ることによって生じると仮定し、砂州幅を縮小(開口部を拡大)させる。

冠水後：洪水流は砂州前面に作用し、河口部水理量によって求めた流砂量に相当する体積が砂州の上面と側面を一樣に削ることによって生じると仮定し、砂州高および砂州幅と同じに減少させる。

なお、求めた全流砂量  $Q_B$  から、砂州の変形量  $\Delta V$  への変換は次式によって求める。変化後の砂州断面形状は図-7のような変形をするものと仮定して逐次作成しなおす。

$$\Delta V^{n+1} = \frac{Q_B \cdot \Delta t}{(1-\lambda)} \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 $\Delta V^{n+1}$ ：砂州容積変化量、 $Q_B$ ：全流砂量、 $\lambda$ ：砂州の空隙率、 $\Delta t$ ：時間間隔であり、添え字  $n$  は時間ステップを表す。なお、フラッシュした土砂は実際には河口前面海域に堆積し、河口デルタを形成するが、本計算では海域部の地形は変化しないものとした。

5. 解析結果

5.1 計算条件

計算条件を表-1に示す。初期の河口砂州形状を1997.6.18 測量の砂州地形をモデル化して作成した。

5.2 計算結果

計算結果を図-8に示す。計算結果は、上段から順に①砂州部開口幅、②観測地点における観測および計算水位の時間変化を示したものである。①の砂州部開口幅の定

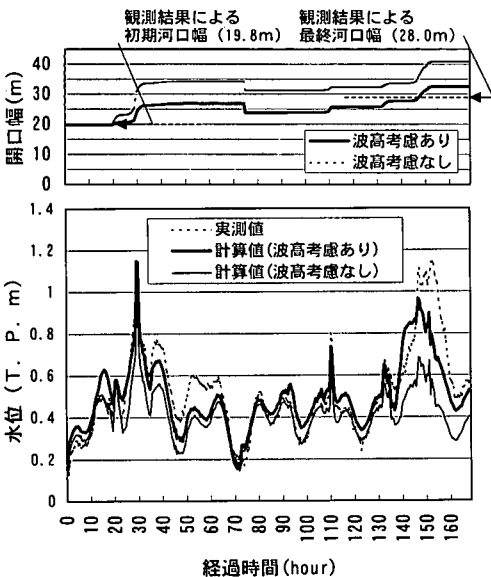


図-8 再現計算結果

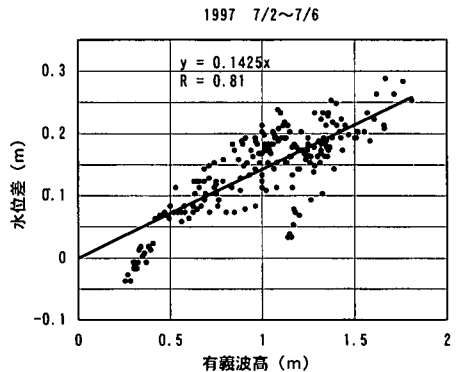


図-9 波高(柏崎港)と水位差の相関関係

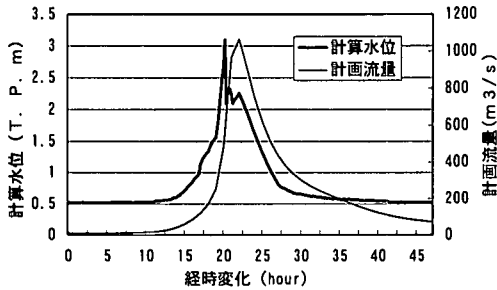


図-10 計画流量による予測計算

義は T.P.±0 m での開口間隔である。

柏崎港潮位を出発水位とした場合、ピーク水位については部分的に観測値とほぼ一致はするものの、ピーク水位以外では差がみられる。高波浪時には、波による水位上昇 (wave setup) が河口部で生じていると考えられ、出発水位に影響を及ぼしていると考えられる。これを検討するために水位差 (河道内水位-柏崎港潮位) と柏崎港有義波高の相関解析を行った。標本は流量が少なく、かつ高波浪時である 1997 年 7 月 2 日から 7 月 6 日までのデータで行った。図-9 に水位差と有義波高の相関図を示す。この結果、両者には線形の相関が見られた (相関係数  $R=0.81$ )。

そこで回帰直線より河口付近では有義波高の 0.14 倍の水位を潮位に加えて出発水位とする検討を行った (図-8)。その結果、計算水位と観測水位はピーク時はもちろん、ピーク水位以外でもほぼ一致する結果が得られた。よって、波浪による水位上昇量は河道内水位に大きな影響を与えているものと考えられる。

計算された開口幅は波浪による水位上昇の有無にかかわらず、出水後の広がり幅が観測値よりも大きい、やや考慮した場合のほうが、観測値に近い値が得られた。

次に当河川での計画流量を流下させた時の計算例を図-10 に示す。流量  $600 \text{ m}^3/\text{s}$  で冠水するまでは水位が

上昇するものの、冠水後は砂州全面に渡ってフラッシュすることから急速にフラッシュが進行し、その結果水位が急激に低下する。したがって洪水ピーク流量時には砂州はほとんどフラッシュしてしまう。このことはすなわち、砂州高さえ低ければ、砂州は容易にフラッシュしやすく、砂州による水位のせき上げを防止できることを意味する。このことは、宇多ら (1994) が砂州高を低くすることで、砂州フラッシュを早め水位上昇を抑えることが有効であることを示していることと合致する。

## 6. おわりに

本研究において、主な検討結果を以下に示す。

- ① 一般的によく見られる片側砂州の場合の砂州のフラッシュ形態をモデル化することで、簡易的な砂州フラッシュモデルを提案した。
- ② 現地観測結果を再現できたことで本モデルの妥当性が確認された。
- ③ 高波浪時には波浪に伴う水位上昇量を出発水位に加える必要がある。
- ④ 課題としては、観測では大規模な洪水が発生しなかったことから、砂州部が完全に冠水する状況が観測されなかった。したがって、砂州部冠水時を含めた状況下でのモデルの検討が今後必要である。

## 参考文献

- 伊福 誠・米澤泰雄・中西まゆみ (1994): 脇川河口砂州の変形について, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 491-505.
- 宇多高明・高橋 晃・水魔嘉幸・高木利光 (1994): 人工リーフを用いた河口処理工の検討, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 506-510.
- 桑原直樹・田中 仁 (1994): 名取川河口地形変化の数値計算, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 501-505.
- 佐藤勝弘・首藤伸夫 (1992): 洪水による河口砂州崩壊過程の数値計算, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 396-400.
- 山本晃一 (1972): 出水時の砂州フラッシュ機構の検討法, 土木技術資料, 14-8, pp. 397-403.