

1994 年渇水期に観測された七北田川河口の完全閉塞

高橋 文彦*・田 中 仁**・高橋 淳***

1. はじめに

1994 年夏、異常渇水が全国規模で市民生活に大きな影響を与えたことは記憶に新しい。仙台市内を流れる二級河川・七北田川の河口においては、この年の春から冬にかけて 5 回にわたり完全閉塞が生じた。1988 年以来行われている調査のなかでこれほど頻繁に閉塞が発生したことはなく、やはり渇水の影響を受けたものであると推測される。また、全国的に見てもこのように頻発した閉塞の観測はきわめてまれであり、貴重な現地観測資料を得ることができた。

本研究では河口内水位、流量、波浪など様々な資料から、閉塞に至った実態を探るとともに、閉塞にいたるプロセスを再現するためのモデルを構築し、実測値との比較を行った。

2. 現地調査

現地調査は仙台市の北部を流れる二級河川・七北田川において行われた。河口部の地形を図-1 に示す。通常の調査は、汀線形状測量を約 2 週間に一度、最狭部横断形状測量を約 1 月に一度行っている。ただし、今年度のように特異な現象が生じた際には、より短い間隔で測量を行った。また、図-1 に示した河口から約 500 m の地点で、自記式水位計により河口内水位を観測している。波浪データは河口から沖合い約 4 km、水深約 20 m の地点において運輸省塩釜港工事事務所により観測されている。また、潮位についても仙台港港内において同事務所により測定されている資料の提供を受けた。

1994 年度の現地調査によると、1994 年 5 月下旬から 11 月上旬にかけて断続的に 5 回もの河口完全閉塞が生じたことが確認されている。

なお、著者らは 1988 年から現在まで継続して七北田川河口の調査を行っているが、現在までに完全な河口閉塞が確認されたのは 1988 年 12 月の 1 回のみである。また、水位波形の変動パターンから閉塞が生じたものと類推さ

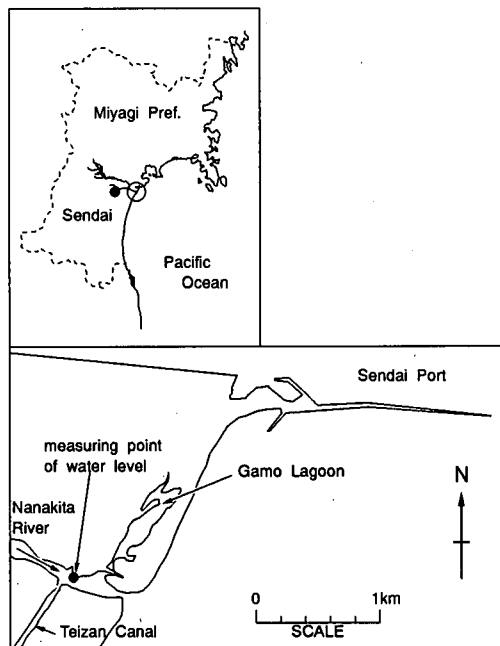


図-1 七北田川河口

れるケースがもう一度存在したのみである(田中, 1991, 1995)。

3. 河口閉塞の観測結果

図-2 に閉塞が観測された時期の波浪条件、河川流量を示す。また、閉塞があったと報告された日時を矢印で示す。このうち、6 月及び 11 月の閉塞については現地において閉塞を確認しており、他については県土木事務所からの情報によるものである。

この期間、河川流量はきわめて少ない。流況曲線を描いた結果からも、他の年に比べて極端に流量が少ないことが確認された。また、閉塞に先立ち高波浪が来襲していることがわかる。先に著者の一人が報告した二つの閉塞事例では、閉塞前の波向き角が共通して 100° ほどであり、閉塞は沿岸漂砂ではなく岸向き漂砂により進行したことを示唆していた(田中, 1991)が、今回の観測ではそのような傾向を示すデータは見られなかった。

* 正 会 員 五洋建設株式会社 土木設計部
 ** 正 会 員 工 博 東北大学助教授 工学部土木工学科
 *** 学生会員 東北大学大学院 工学研究科土木工学専攻

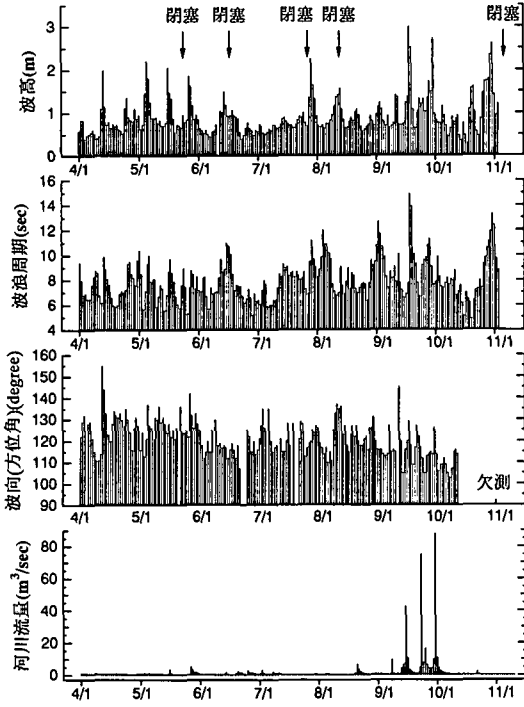


図-2 観測期間における外力の変化

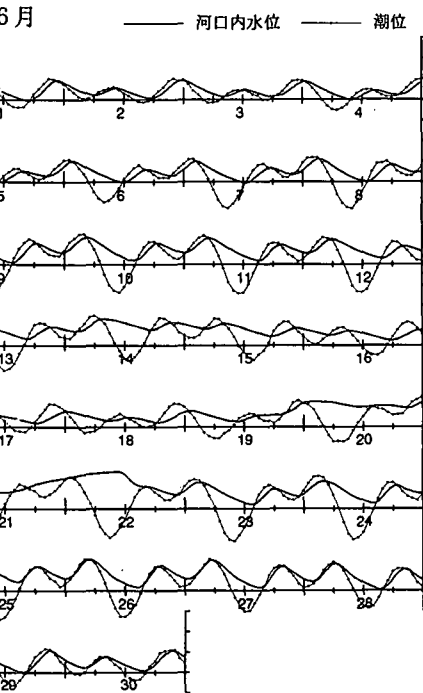
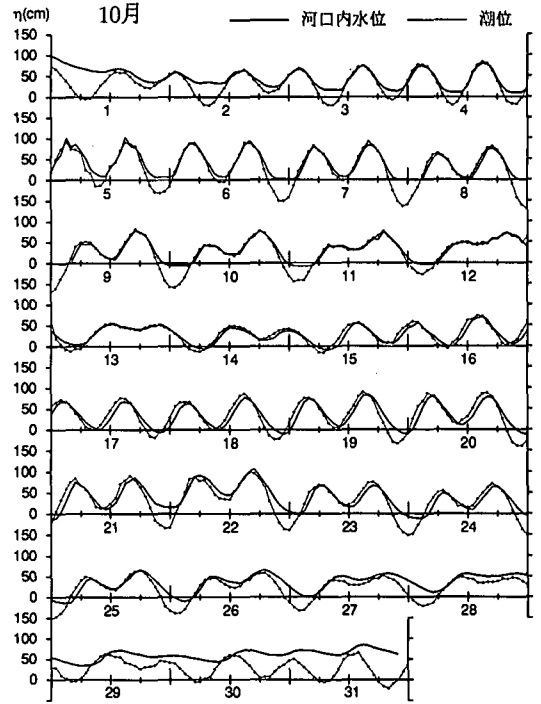


図-3 6月の河口内水位と潮位の変動

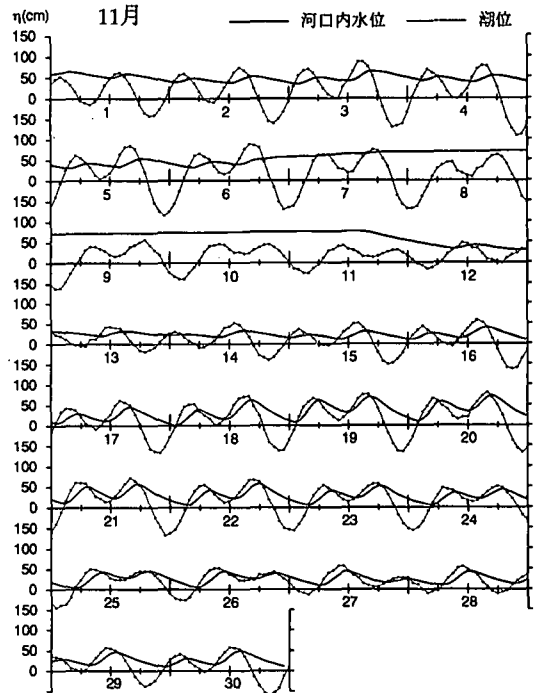


図-4 10月、11月の河口内水位と潮位の変動

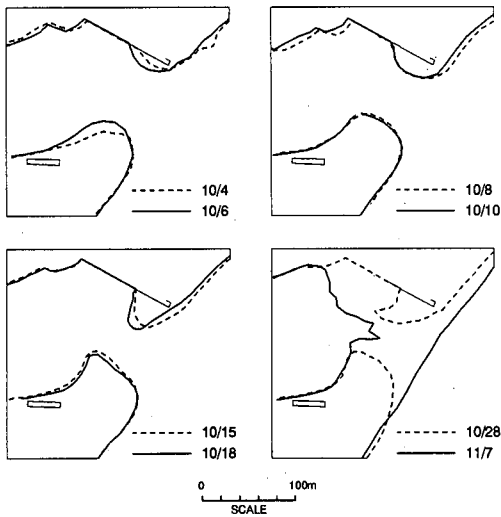
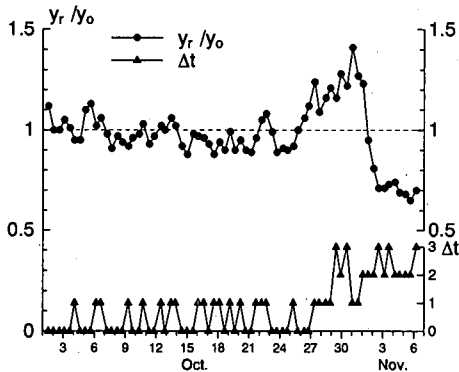


図-5 閉塞に至るまでの地形変化

図-6 y_r/y_0 と位相差 Δt

現地で実際に閉塞を確認した6月および11月について河口内水位と潮位の変化を図-3、図-4に示す。後者については10月のものも図示する。

6月の閉塞時には17日に現地で閉塞を確認し、20日に開削が行われた。この間、河口内水位の変動はきわめて緩慢であり、そのピーク水位は潮位のそれより低い。ただし、七北田川河口は貞山運河により名取川河口と連結されているため、七北田川河口で完全閉塞が生じた後にも微弱な水位変動が見られる。開削後の22日には小規模な出水があり、その後の水位変動は潮位変動に対応した規則正しいものに戻っている。

11月には6日に現地で閉塞が確認されているが、水位の変動から判断するとすでにその前から閉塞が進行していたことが推測される。

この時の閉塞に至る過程の地形変化の測量結果を図-

5に示す。図には10月4日からの地形が示されているが、これに先立ち9月22日および9月30日に出水があり、二度にわたり砂州がフラッシュされた。図-5の観測はこの二回目のフラッシュ直後から連続して行われたものである。図-4によればフラッシュ直後には二つの水位がほぼ同様に変動している。これに対して10月中旬からは位相差が顕著になり、28日あたりからは河口内水位の変動が緩慢になっている。

図-5に示した事象について閉塞が完了した日時を推定するために、河口内水位ピーク y_r と潮位ピーク y_0 との比 y_r/y_0 、及び両者の位相差 Δt を求め、図-6に結果を示した。これより、10月31日から11月2日にかけて y_r/y_0 は急激に減少し、 Δt は増加する。すなわち、この時期に河口部の疎通能力が極端に低下していることがわかる。これにより、河口閉塞が生じた日時を特定することができた。

なお、閉塞直前に y_r/y_0 が一度増加を示すが、これは wave set-up によるものであることが判明した。大河川では河口水深が大きいことこのような現象は見られないものと考えられる(田中, 1995)。

4. 河口閉塞過程のモデル

河口部における砂の体積保存式を用いて河口幅変化の解析を行う。基礎式は以下のとおりである(兎山・田中・首藤, 1994)。

$$(1-\lambda)Lh\frac{dB}{dt}=e_Rq_RB-e_W(1-\lambda)Q_W \quad \cdots \cdots (1)$$

ここで、 λ : 砂の空隙率、 L : 砂州幅、 h : 水深、 B : 河口幅、 t : 時間、 q_R : 河川流による流砂量、 Q_W : 沿岸漂砂量、 e_R : 河川流による土砂の排除効果、 e_W : 波浪による沿岸漂砂の流入効率である(図-7参照)。ここで、流砂量式として次式を用いる。

$$q_R=K\left(\frac{u^{*2}}{sgd}\right)^m u^* d \quad \cdots \cdots (2)$$

ここで、 s : 砂の水中比重、 g : 重力加速度、 d : 底質粒径、 u^* : 摩擦速度であり、また、 $K=10$ 、 $m=2$ とする。沿岸漂砂量については次式を用いる。

$$Q_W=\alpha(Ec_b)_0 \sin \theta_b \cos \theta_b \quad \cdots \cdots (3)$$

ここで、 α : 定数(=0.05)、 E : 波のエネルギーフラックス、 c_b : 群速度、 θ : 波向き角であり、添え字 b は砕波点での諸量であることを示す。ここで、係数 α は七北田川河口近くの汀線変化シミュレーションにより同定されたものである(田中, 1991)。

式(2)、(3)を式(1)に代入し、さらに河川流量、波浪条件が一定であると仮定すれば、次の解が得られる。

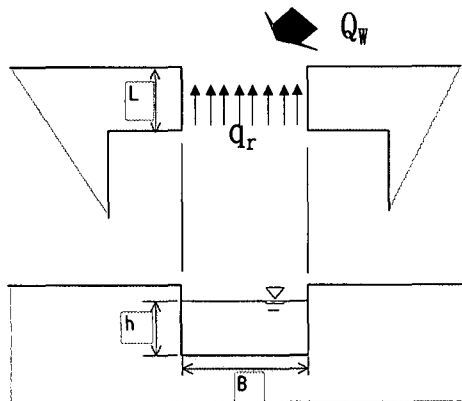


図-7 河口幅変化モデル

$$(B^*-1) + \frac{A_1^*}{4} \log \left| \frac{(B^*-A_1^*)(1+A_1^*)}{(B^*+A_1^*)(1-A_1^*)} \right| - \frac{A_1^*}{2} \cdot \left\{ \tan^{-1} \left(\frac{B^*}{A_1^*} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{1}{A_1^*} \right) \right\} = -t^* \quad (4)$$

ここで,

$$B^* = \frac{B}{B_0}, \quad A_1^* = \sqrt{\frac{A_1/A_2}{B_0}}, \quad t^* = \frac{A_2 t}{B_0} \quad (5)$$

$$A_1 = \frac{e_R K d (\sqrt{q n Q})^{2m+1}}{(1-\lambda) L h (sgd)^m h^{(2m+1)/76}} \quad (6)$$

$$A_2 = \frac{e_W Q_W}{L h} \quad (7)$$

であり, B_0 は $t=0$ の河口幅である。河川流が無いときの閉塞過程は式(4)で $A_1^*=0$ として, 次のようになる。

$$B^* = 1 - t \quad (8)$$

また, 動的な平衡状態での川幅 B_∞ は式(1)において $dB/dt=0$ とおけば容易に得られる。 B_0 により無次元化して, 次式を得る。

$$B_\infty^* = \frac{B_\infty}{B_0} = A_1^* \quad (9)$$

式(4)によれば, $A_1^*=0$ の場合を除けば平衡状態の川幅に至るのに無限大の時間がかかるので, 平衡状態の川幅の99%に至る時間を t_∞ と定義する。無次元化された時間 t_∞^* は次式で表される。

$$t_\infty^* = A_1^* \left\{ a^* - \frac{1}{4} \log \left| \frac{1+A_1^*}{1-A_1^*} \right| - \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{1}{A_1^*} \right) \right\} + 1 \quad (10)$$

ここで, $a^*=0.723$ ($A_1^*>1$ の時), $a^*=0.711$ ($0<A_1^*<1$ の時) である。 $A_1^* \rightarrow \infty$ の時, 式(10)は次式に漸近する。

$$t_\infty^* = 0.723 A_1^* \quad (11)$$

無次元化された開口幅変化の様子を図-8に実線で示す。 A_1^* は河口に持ち込まれる沿岸漂砂量と河川流によ

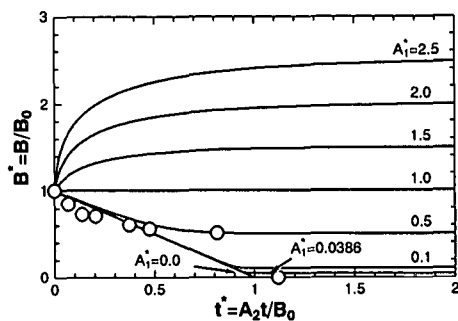
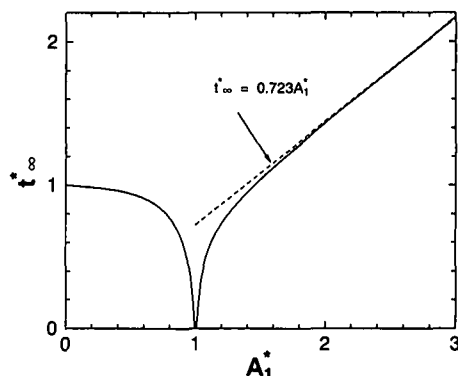


図-8 河口幅変化の解析解と実測結果

図-9 平衡状態に至る時間 t_∞^*

る排出砂量の比を表す。 $A_1^*=1$ は動的平衡状態であり, 河口幅に変化がない。 $A_1^*>1$ は拡幅過程であり, 逆に $A_1^*<1$ は河口幅減少過程に対応する。 $A_1^*=0$ は河川流がゼロで完全閉塞に至る状態を表す。過去に得られた解析解(青田・首藤, 1980; 辻本ら, 1989)では, 完全閉塞過程の解が指数関数形で与えられ, 現実の現象にそぐわないものと考えられる。これに対して, 本研究の解では式(8), 図-9から分かるように, 有限時間 ($t^*=1$) に閉塞が完了しており, より現実に近い解であると言える。

平衡状態の河口幅にいたる時間 t_∞^* を A_1^* の関数として図-9に示した。 $A_1^*=1$ の時には動的平衡状態にあるので, $t_\infty^*=0$ である。

従来の調査によれば, 河川の大小により河口地形変化の時間スケールが大きく異なることが知られている。例えば, 澤本・首藤・谷口(1987)の阿武隈川における観測によれば, 砂州フラッシュ後に砂州が回復するまで数ヶ月程度かかっている。一方, 本研究の調査対象である七北田川河口ではフラッシュ後2週間程度で洪水前の地形に戻る(田中, 1995)。さらに, これら二つの河川の中間の河川規模を有する名取川河口においては, 砂州の回

復に 1 カ月程度の期間を要する。今回得られた無次元時間スケール t^* により、この様な相違を統一的に解釈できるものと期待される。

図-8 には、図-5 に示された実測結果と上記の解析解との比較を行った。なお、10 月 13 日以降波向きデータが欠測であるので、10 月 4 日から 12 日までの波浪条件を平均して計算に用いた。また、河川流量中には潮汐流量も加味した。 e_R 、 e_W に関しては先の兜山ら (1994) の値をそのまま用いた。今回の外力条件のもとでは $A^* = 0.0386$ であり、初期の川幅変化過程は比較的理論に近い形で進行している。閉塞直前については前述のように波浪データが欠測であり厳密な比較は出来ないが、両者の差はさほど大きくない。

5. ま と め

本論文では 1994 年に仙台市七北田川河口で観測された閉塞について報告を行った。主要な結論を以下に示す。

(1) 先の報告では閉塞直前に河口内に直接侵入する真東方向からの波浪が卓越していたが、今回のデータに関してはそのような傾向は見られなかった。

(2) 水位データ・潮位データの解析から、閉塞が生じた日を推定することが出来た。

(3) 河口閉塞過程の解析解を得た。すでに得られて

いるの解に比べ改善がなされ、実測値の対応も比較的良好であった。

謝辞：本研究を行うに際して、東北大学工学部首藤伸夫教授より様々な助言を賜った。本研究を行うにあたり、文部省科学研究費（総合研究 (A)、代表：東北大学澤本正樹教授、試験研究 (B)、代表：田中 仁）の補助を、また本論文の公表に際して小川基金の補助を受けた。宮城県仙台台東土木事務所、建設省仙台工事事務所ならびに運輸省塩釜港工事事務所からは貴重な資料の提供を受けた。ここに記して深甚なる謝意を表する。

参 考 文 献

- 青田茂雄・首藤伸夫 (1980)：河口断面積変化過程の数値モデル、第 24 回水理講演会論文集、pp. 203-208。
 兜山博之・田中 仁・首藤伸夫 (1994)：河口開口位置変化の予測モデル、海岸工学論文集、第 41 巻、pp. 456-460。
 澤本正樹・首藤伸夫・谷口哲也 (1987)：阿武隈川河口砂州の変形過程、土木学会論文集、第 387 号/II-8、pp. 179-188。
 田中 仁 (1991)：七北田川の河口閉塞と河口砂州フラッシュ、水工学論文集、第 35 巻、pp. 275-280。
 田中 仁 (1995)：七北田川において観測された中小河川特有の河口現象、土木学会論文集、No. 509/II-30、pp. 169-181。
 辻本哲郎・森 明巨・岡部健士・大本照憲 (1989)：流砂の非平衡の理論とその応用、第 33 回水理講演会論文集、pp. 445-461。