

高頻度空中写真撮影による七北田川河口砂州動態の検討

Patchanok Srivihok*・田 中 仁**

空中写真は広域の地形情報を一度に捉えることが出来る利点を有し、これを活用することによりこれまでも優れた成果が残されてきた。しかし、国土地理院による空中写真は数年に一度の撮影頻度であることが多いことから、これにより地形変化と外力との因果関係を論じることが困難な場合が多い。一方、独自に撮影を行う場合には、これが高価であることから、高頻度で撮影して河口地形に関する検討を行った事例は見られない。本研究では、宮城仙台市・七北田川の河口域を対象として、一月あるいは二月に一度という高い頻度で撮影された空中写真により、七北田川における 10 年規模の時間スケールでの河口過程に関する検討を行った。

1. はじめに

河口地形は複雑な外力のもとに変化する。このため、頻度の低い地形データでは、その間の地形変化と外力との間の因果関係を明らかにすることが困難である場合が多い。

空中写真は広域の地形情報を一度に捉えることが出来る利点を有し、これを活用することによりこれまでも優れた成果が残されてきた(例えば、田中ら, 1973)。しかし、国土地理院による空中写真は数年に一度の撮影頻度であることが多いことから、先述の問題点を有している。一方、独自に撮影を行う場合には、これが高価であることから、高頻度で撮影して河口地形に関する検討を行った事例は見られない。

本研究では、宮城仙台市・七北田川の河口域を対象として、一月あるいは二月に一度という高い頻度で撮影された空中写真により、七北田川における 10 年規模の時間スケールでの河口過程を明らかにした。

2. 研究対象と研究手法

本研究では、二級河川・七北田川河口を対象とする。河口地形の概要を図-1 に示す。七北田川は宮城県仙台市に位置し、幹川流路延長 45 km, 流域面積 229.1 km² の二級河川である。河口左岸には蒲生干潟がある。同干潟はかつて七北田川の河道の一部であったが、現河口の 2 km 北に仙台港が建設されるにあたり、左岸導流堤により開口部が現位置に固定された後、旧河道の北半分が埋め立てられたことにより、現在のラグーン地形が生み出された。

これまで著者の一人は、七北田川に関する河口地形変動や wave set-up に関する検討を実施している(田中, 1991; 田中ら, 1998)。この調査研究の一環として、河口閉塞状況の継続的なモニターを目的として、1990 年から現在までの 14 年間にわたり、1 ヶ月または 2 ヶ月に一度

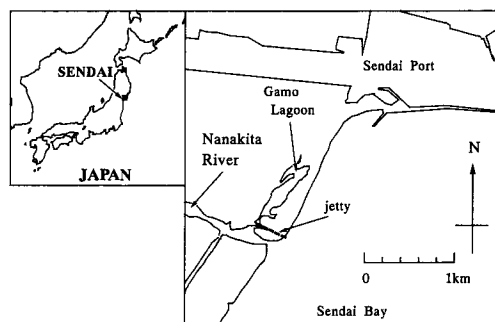


図-1 七北田川河口地形

という高頻度で河口地形の空中写真の撮影が行われている。この画像をスキャナーで取り込み、デジタルカラー画像をパーソナルコンピュータで解析することにより、河口汀線の変動特性を明らかにした。また、対応する時期の河川改修、波浪・漂砂の解析により、空中写真に見られた河口地形変化との関連を検討した。

3. 空中写真の解析方法

近年、パーソナルコンピュータレベルでの画像解析技術の発達が著しい。このような背景から、海浜地形のビデオ観測画像解析への応用もなされている(Alport ら, 2001)。本研究においても、空中写真に撮影された水際線の検出に画像処理手法を用いた。通常、カラー画像のデジタル処理に際しては RGB による表示を用いることが多いが、ここでは Aarninkhof and Roelvink (1999), Aarninkhof ら (2000) による研究と同様に、HSI (Hue-Saturation-Intensity) を用いた。同手法は視覚による色の判別に即した表示法である。

HSI を用いた水際判定の具体的手法に関しては著者らの研究(Srivihok and Tanaka, 2004)に詳しい。この手法によれば、砕波帯の白色と砂浜の白色とを見分けることが可能で、正確かつ自動的に汀線の位置を判断できることが確認されている。

* 学生会員 M.Eng. 東北大学 大学院工学研究科土木工学専攻

** 正会員 工 博 東北大学教授 大学院工学研究科土木工学専攻

4. 13年間の河口地形変化

(1) 河口砂州地形の変遷

水際線を抽出した後、水域・水域別に数値 a を割り振り、水域で $a=0$ 、陸域で $a=1$ とした。さらに、各ピクセルの a について一年毎の平均・標準偏差を求め、これにより河口地形の変動を調べた。図-2 は 1990 年から 2002

年の 13 年間にわたるこの指標の平均値を示したものである。前述の様な数字の割り振りにより、常に水域あるいは陸域である領域にそれぞれ黒色、白色が現れ、それらの中間の灰色系統色が河口砂州地形の変動の様子を示している。これより、1990 年から 1994 年にかけて、河口地形が大きく変動し、開口位置が安定していないことが分かる。一方、1995 年以降から河口地形が安定し、特に

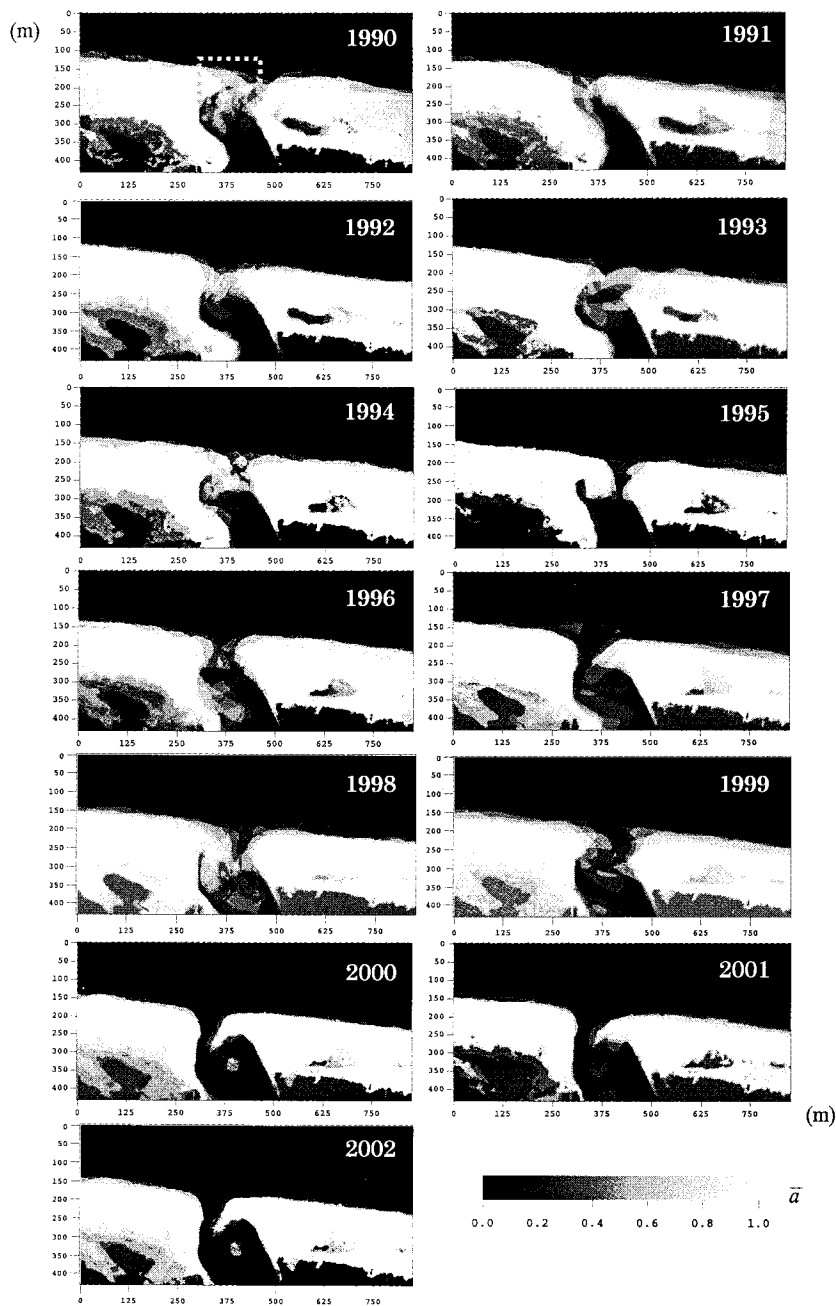


図-2 空中写真により得られた河口地形の変遷

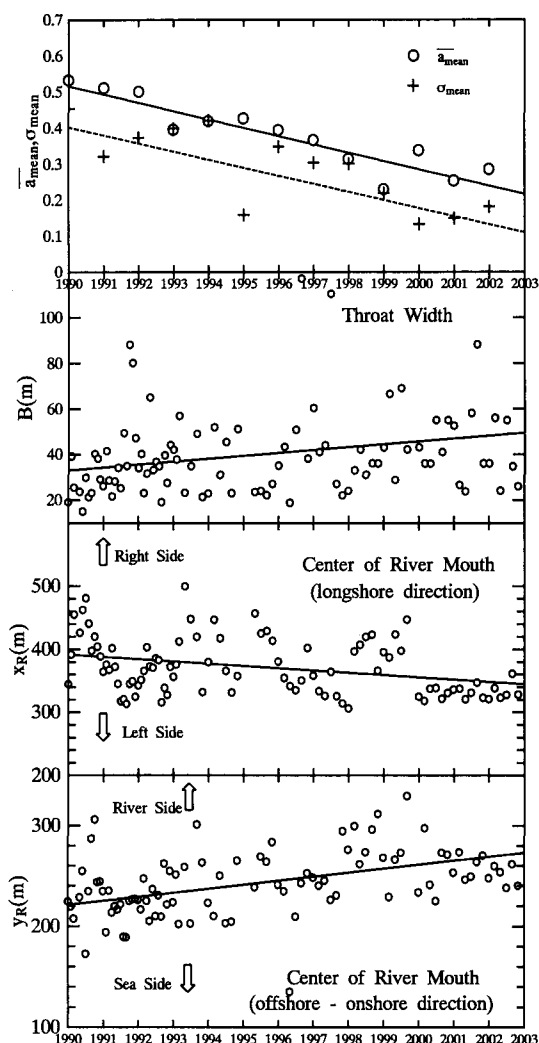


図-3 七北田川河口地形の変化

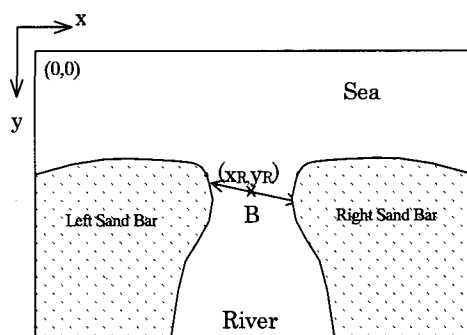


図-4 河口部最狭部特性の定義

2000年以降は右岸砂州が安定して存在していることが認められる。

図-2において見られた河口地形の変遷をより定量的

に評価することを目的として、河口部において図-2の1990年の図に鎖線で示す領域を設定し、その中での指標 a の平均値・標準偏差について、それぞれの領域内平均値 ($\bar{a}_{\text{mean}}$, σ_{mean}) を算出した。その結果を図-3に示す。 σ_{mean} の減少は近年の河口地形の安定を示している。また、 $\bar{a}_{\text{mean}}$ の低減はこの領域内における砂州規模の縮退を表している。

図-3の第二段以降には、河口最狭強部における川幅 B 、最狭部の座標 (x_R, y_R) の変化も示した。これらの諸量の定義を図-4に示す。図-3によれば、河口幅 B の漸増、開口位置の左岸側への固定、開口位置の河口内への押し込みが見られる。なお、河口部においては左岸にのみ、汀線位置まで延びた導流堤がある(図-1参照)。このため、開口位置の x 座標 x_R は約 320 m を下限値とし、これよりも減少することはない。

図-2に見られるように右岸砂州の発達により河口開口部が左岸導流堤に接している時、河口付近の河道には深掘れが生じることが報告されている(田中, 1995)。このような導流堤に接した位置での開口部の安定化は、後述の感潮面積増加の効果に加えて、構造物周辺の局所洗掘により、さらに河積の増大をもたらす要因になっているものと考えられる。

田中・山本(2000)は1988年から1999年にかけて行われた七北田川感潮区間における河道掘削が、河口水理特性・河口地形特性に与える影響に関して報告を行っている。これによれば、上記の期間において感潮区間の面積が約30%増加していることが判明している。七北田川のように潮汐の作用が支配的な河川においては、最狭部の断面積はタイダルプリズムにほぼ比例している。したがって、図-3に見られる河口断面積増加の一つの要因として、河道改修による感潮面積の増加を挙げることが出来る。

5. 河口周辺における沿岸漂砂の特性

以下では、図-2、図-3に見られた右岸砂州の発達・開口部の左岸への固定化現象について、沿岸漂砂の卓越方向との関連で考察を行う。

仙台港沖の水深 20 m の地点には NOWPHAS の観測地点がある。そこで、ここでの実測波浪を用いて、一度沖波に戻した後に再び波浪計算を行い、漂砂量の計算に使用した。波浪計算には波向き線法を使用し、漂砂量式は CERC (1984) 式をベースとした。漂砂量式の係数は one-line モデルによる検証によりすでに同定がなされている(田中, 1991)。なお、七北田川河口から北に 2 km の地点には仙台港があり、約 2 km の長さの南防波堤が存在する。この周辺の海浜はこの防波堤からの反射波の影響を受けており、図-1の防波堤基部付近に見られる

侵食も反射波によるものであることが報告されている(森下ら, 1995)。このため、漂砂量の算定に当たっては、防波堤からの反射波の効果も加味した。

まず、波浪条件としては図-5に示す波高、周期、波向き(方位角)の月平均値を用いた。ただし、図示したデータはNOWPHAS地点でのものである。これによれば、波高、周期に関しては各年で大きな変化はないが、波向きに関してはわずかながら増加する傾向が見られる。この事実、七北田川河口での右岸砂州の卓越を定性的に支持するものである。ただし、沿岸漂砂量は汀線に対する相対的な入射角をもとに算定されるものであるので、汀線の向きに関する情報も合わせて考慮しなければならない。

そこで、年に一度行われている地形測量データから、七北田川河口付近の汀線の向き(方位角)を求めた。結果を図-6に示した。同図には年平均の波向きも合わせて示した。これによれば、平均的な汀線の向きには大きな変化は見られない。これに比べ、入射波の波向きの変動が大きい。したがって、漂砂量の算定においては図-5

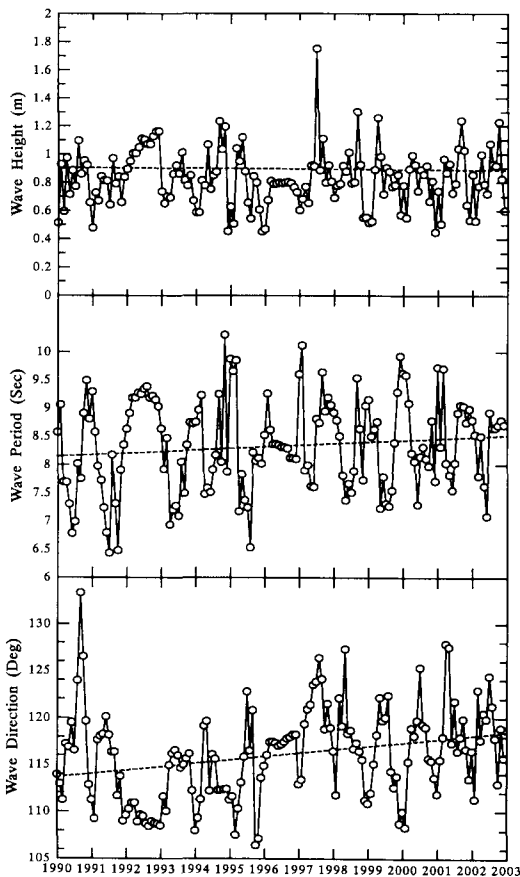


図-5 七北田川河口沖における波浪特性

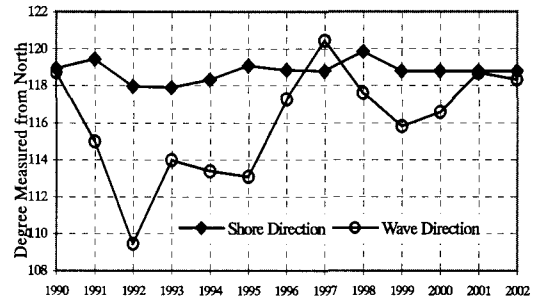


図-6 波向きと七北田川河口付近の汀線の向き

$Q(\text{m}^3/\text{year})$

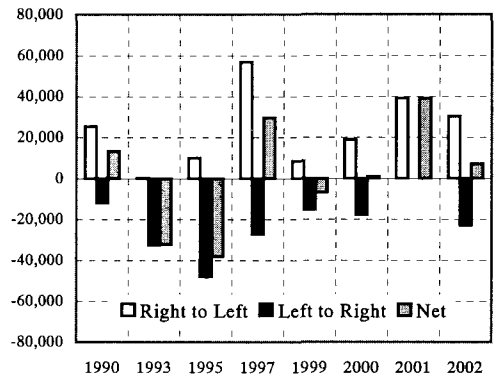


図-7 七北田川河口付近における沿岸漂砂量

に示した波向きの変動がより大きな影響を与えていることが分かる。

沿岸漂砂の計算結果を図-7に示す。ここでは、各年毎に右岸側から左岸に向かう北上漂砂、逆向き移動する南下方向の漂砂、およびそれらの差(net)として図示している。このうち、1993年、1995年には左岸から右岸に向かう漂砂が卓越し、図-2に見られる河口地形の変化と対応している。また、近年においては右岸からの沿岸漂砂供給の卓越が認められた。これは、図-2、図-3において見られる近年の右岸砂州の安定化傾向を説明するのである。

6. おわりに

宮城県仙台市・七北田川河口部を対象に撮影された高頻度の空中写真を用いて、1990年から2002年までの13年間にわたる河口地形変化を解析した。これにより、下記ことが明らかになった。

(1) 1990年代初めから半ばにかけては、右岸、左岸の双方から河口砂州が発達していたが、近年、左岸砂州が見られず、右岸砂州が安定して存在する。

(2) 河口周辺域における沿岸漂砂の計算を行ったとこ

ろ、空中写真に見られる河口砂州の発達傾向と、沿岸漂砂の卓越方向とが良く対応していることが分かった。

今後、これらの知見を踏まえ、さらに河川流、潮汐流の影響を加味して、河口砂州の発達過程をモデル化する予定である。

謝辞：本研究を行うにあたり、国土交通省塩釜港湾空港工事事務所、宮城県仙台東土木事務所よりから貴重な現地データを提供頂いた。また、日本学術振興会科学研究費（基盤研究(B)，No.14350262）の補助を受けたこと付記し、ここに深く謝意を表する。

参 考 文 献

- 田中則男・小笹博昭・小笠原昭（1973）： 海浜変形調査資料（第1報）—航空写真による汀線変化の解析（東日本編）—，港湾技術研究所資料，No. 163，pp. 1-95.
- 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，第509巻，II-30号，pp. 169-181.
- 田中 仁・長林久夫・山内健二（1998）： 河口感潮域における wave set-up 高さに関する研究，海岸工学論文集，第45巻，pp. 436-440.
- 田中 仁・山本秀和（2000）： 河道掘削による感潮面積増加がもたらした河口水位変動特性・底生生物相の変化，海岸工学論文集，第47巻，pp. 1136-1140.
- 森下保壽・高橋次郎・川又良一・坂井隆行・片野明良（1995）： 構造物の反射波による海浜変形の制御効果，海岸工学論文集，第42巻，pp. 711-715.
- Aarninkhof, S.G.L. and J.A. Roelvink. (1999): ARGUS-based monitoring of intertidal beach morphodynamics, Proc. of Coastal Sediments Conf., pp. 2429-2444.
- Aarninkhof, S.G.L., M. Caljouw, and M.J.F. Stive (2000): Video-based quantitative assessment of intertidal beach variability, Proc. 27 th Int. Conf. on Coastal Engineering, pp. 3291-3304.
- Alport, M., J. Basson, G. Mocke, J. Naicker, and C. Saltau, (2001): Discrimination and Analysis of Video Imaged Shorelines and Nearshore Processes, Proc. of Coastal Dynamic Conf., pp. 989-997.
- Coastal Engineering Research Center (1984): Shore Protection Manual, U.S. Army Corps of Engineers.
- Srivihok, P. and H. Tanaka: Analysis of river mouth behavior change by using aerial photographs, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol. 48, pp. 733-738.