

沿岸漂砂系に流入する河口左右岸の汀線変動特性に関する研究

Shoreline Evolution around a River Entrance

Eko Pradjoko¹・田中 仁²

Eko PRADJOKO and Hitoshi TANAKA

The shoreline position in alongshore direction around the Nanakita River mouth was measured from aerial photograph which have been taken every 2 months in 20 years. Empirical Orthogonal Function analysis was used to decompose the data into the dominant mode of shoreline variability for left and right side of river mouth. The results were also examined in relation with wave parameter and river discharge. The first mode shows the same shoreline movement between left and right side which reveals cross-shore process. The analysis of second mode and its correlation with river discharge reflects the influence of long-shore process. This mode also reveals the influence of river mouth in interrupting the long-shore sediment transport. The higher modes reflect the formation of beach cusps in relation with wave parameter.

1. はじめに

近年、日本各地の海岸において土砂収支の評価が行われている。この際、河口は土砂の供給源として位置づけられるが、その存在が、河口噴流・河口前面堆積地形を通じて沿岸漂砂の連続性を分断する効果を持つことも考えられる。特に、沖側に張り出した河口テラスが強固に存在する場合には、たとえ導流堤が無くても沿岸漂砂を阻止する効果を有すると考えられる (Truong・田中, 2006; 中村, 2008)。したがって、河口テラスが存在する河口部は漂砂系において土砂供給の役割とともに、漂砂遮断の役割も有することに注意しなければならない。ただし、このような評価を行うためには、河口部および周辺海岸を含む広い領域の資料が必要となる。

本研究においては、仙台北岸を対象として20年にわたり2ヶ月間隔の高い頻度で撮影された空中写真を使用した。これにより、河口の存在が周辺海浜漂砂系に及ぼす影響に関する検討を行った。

2. 研究対象とデータ

(1) 研究対象

研究対象の七北田川河口周辺海浜地形の概要を図-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45km、流域面積229.1km²を有する二級河川である。図-1に見られるように、近年、右岸側の河口砂州が顕著に発達することが多い (Srivihok・田中, 2004)。これは沿岸漂砂の卓越方向が右岸から左岸に向かうことを示している。

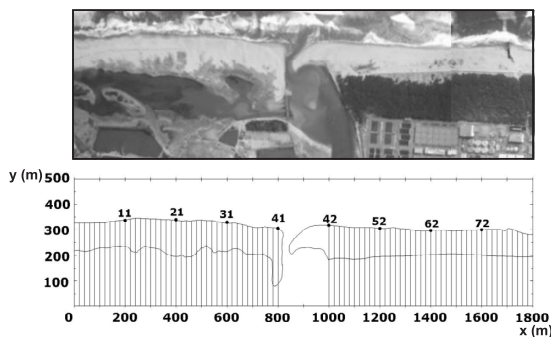


図-1 七北田川河口周辺海浜の概要と座標の定義

1990年から現在までの河口周辺の画像をスキャナーで取り込み、デジタルカラー画像をコンピュータで解析することにより、河口を挟む周辺海浜の汀線の変動特性を明らかにした。

なお、同海浜を対象として、同様な汀線変動の解析がTruong・田中 (2006) によりなされている。本研究においては、上記の研究目的を考慮して20mというより細かい空間間隔でのデータを作成し、河口周辺に存在すると期待される流出土砂の影響なども検出できるための空間分解能とした。設定された座標系 (x, y) および解析のための測線位置を図-1に示した。

(2) 使用データ

空中写真に撮影された水際線の検出にはHoekeら (2001) によるBeach Toolsを用いて画像解析を用いた。この手法によれば、水域と砂浜とを識別することが出来る。さらに、碎波帯の白色と砂浜の白色とを正確に見分けることが可能である。さらに、平均的な前浜勾配 (黒澤・田中, 2001) を用いて潮位補正行って汀線位置を得る。これにより、右岸・左岸における汀線位置を沿岸方向に

1 学生会員 M.Eng. 東北大学大学院 工学研究科土木工学専攻
2 フェロー 工博 東北大学大学院 教授工学研究科土木工学専攻

20m間隔で定めた。ただし、河口砂州部は河川流、潮汐流、沿岸の流れとの複雑な影響を受けて、海側に凸状に張り出したり、時には河口内に押し込まれることもある (Srivihok・田中, 2004; Srivihok・Tanaka, 2004)。このように河口砂州部は周辺の海浜と大きく異なる変動を示すため、図-1の800m<x<980mの範囲は検討対象から除いている。このため、総測線数は82本であり、左岸端部をNo.1とし、右岸端部がNo.82となる。

さらに、河口をはさんで右岸・左岸ともに800mの区間の汀線位置を対象に経験的固有関数法 (EOF) による解析を行った。ただし、Winantら (1975) のように岸沖方向の海浜断面を対象とした解析ではなく、姜ら (2004)、Miller・Dean (2006a, 2006b)、Fairleyら (2009) と同様に沿岸方向の汀線位置を対象として解析を行っている。この時、基礎式は以下の通りである。

$$y_s(x, t) = \sum_{n=1}^{n_x} C_n(t) e_n(x) \quad \cdots \cdots \cdots (1)$$

ここで、 t : 時間、 $y_s(x, t) = y'_s(x, t) - \bar{y}_s(x)$: 平均汀線位置からの変動量、 $y'_s(x, t)$: 基準点からの汀線までの距離、 $\bar{y}_s(x)$: 基準点からの平均汀線距離、 n_x : 測点数、 $C_n(t)$: 時間に関する固有関数、 $e_n(x)$: 空間に関する固有関数である。

3. 解析結果

(1) 近年の汀線変動の傾向

図-2には代表的な測線における汀線位置の変動を示す。なお、図中の破線は、その始点から終点までの期間に直線回帰を当てはめて得られたトレンドを示している。Truong・田中 (2006) はやはり七北田川河口周辺の海浜変形に関して1990年から2005年までの検討を行い、河口左岸では1990年から1997年までは全体的に侵食傾向を示し、1998年以降は前進に転じ、一方、右岸は安定傾向あるいは堆積傾向にあるとの報告を行っている。図-2によれば、2006年以降の河口左岸汀線位置は再び後退に転じていることが分かる。

(2) EOFによる解析結果

図-3に第一成分から第五成分までの空間関数の分布を示した。また、それぞれの成分の寄与率を、右岸・左岸に分けて表-1にまとめた。両岸ともに第一成分が圧倒的に支配的な成分となっており、それ以外ははるかに低い貢献度となっていることが分かる。ただし、右岸に比べて、左岸において第二成分よりも高次のモードが支配的である。ここで、EOFの分析は左右岸について別々に行われたが、第一成分のみならず、後述する高次のモードまで左右岸ではほぼ同様な成分が抽出されている点はきわめて興味深い。

また、ここに抽出された成分はフーリエ級数展開に類

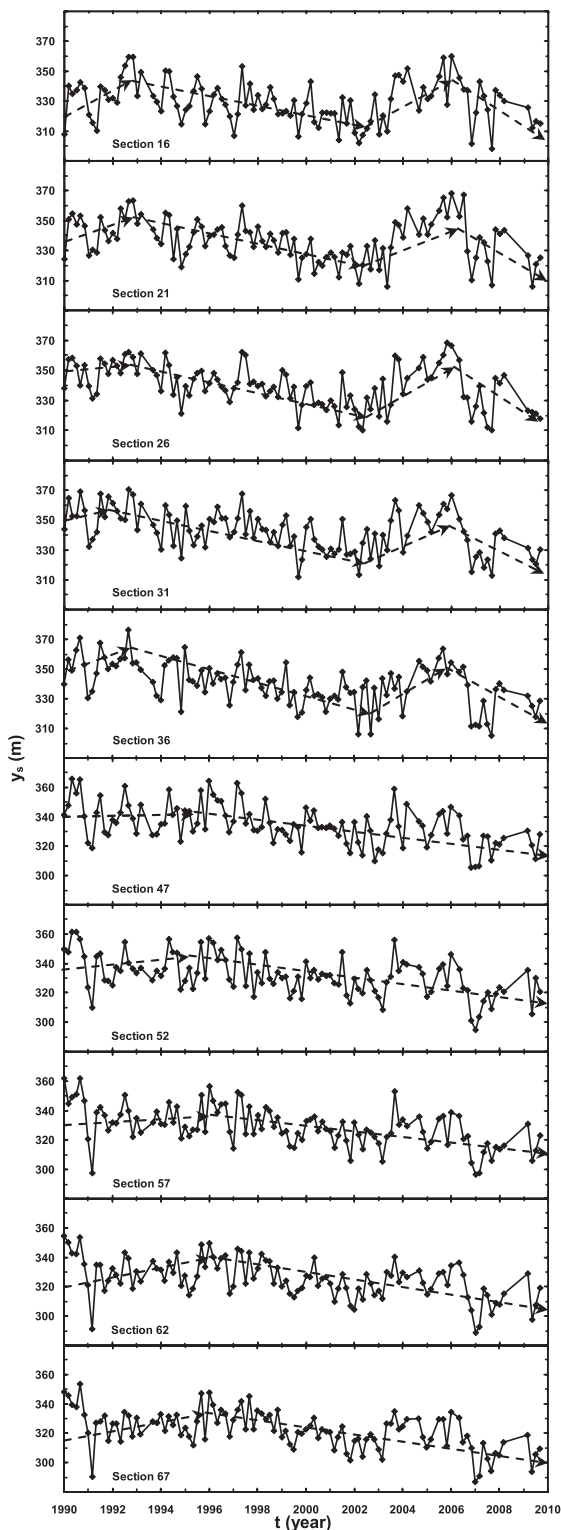


図-2 汀線の変動

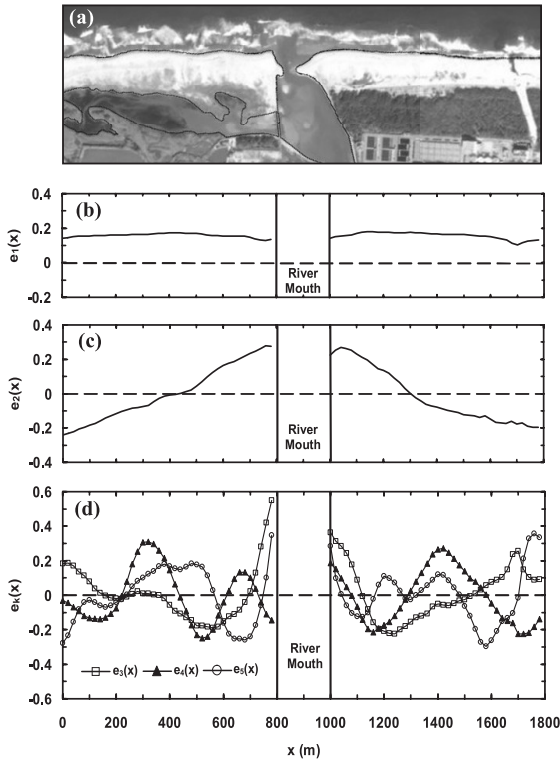


図-3 空間関数

表-1 右岸・左岸での各成分の寄与率 (%)

	左岸	右岸
第一成分	73.5	83.3
第二成分	14.2	6.9
第三成分	3.6	2.3
第四成分	2.3	1.8
第五成分	1.9	1.3

似したモード構成になっていることが分かる。すなわち、第一成分はほぼ一定値であり、第二成分以降の波長 λ_1 は、それぞれおおよそ $\lambda_2 = 2L$, $\lambda_3 = L$, $\lambda_4 = L/2$, $\lambda_5 = L/3$ (L : 解析区間長さ) に対応していることが分かる。

以下では、それぞれの成分について、河口左右岸に見られるそれぞれの特徴および波浪などの外力との関係について考察を行う。

a) 第一成分

図-3 (b) に示した第一成分は沿岸方向に一樣な分布であり、また、左右岸ではほぼ同一の値を持つことに特徴がある。さらに、左右岸の時間関数 c_1 の相関を図-4に図示した。同図より、左右岸の時間関数はほぼ正の相関関係が認められ、河口の左右岸によらず、外力に対して沿岸方向に一樣な汀線前進・後退を示すモードであることが分かる。なお、図中の破線は直線回帰式であり、その相

関係数 R は $R = 0.49$ であった。

次に、ここで得られた時間関数と波浪条件との関係を検討するために、Sunamura・Horikawa (1974) による C_s 値を算出した。その定義を次式に示す。

$$C_s = \frac{H_0}{L_0} (\tan \alpha)^{0.27} \left(\frac{D}{L_0}\right)^{-0.67} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 H_0 : 沖波波高, L_0 : 沖波波長, $\tan \alpha$: 海浜勾配, D : 底質粒径である。ここで、波浪データとしては仙台港におけるナウファスの日平均値を用いた。一方、EOFから得られた二ヶ月毎の時間関数の値より、その変化率 $\Delta c_1/\Delta t$ を算出し、二ヶ月の期間内で平均された C_s 値との関係を調べた。図-5にその結果を示している。ただし、上付きのバーは二ヶ月の間での平均値であることを示す。ばらつきは大きいものの、 C_s 値が大きい時に侵食傾向になることを示している。破線は直線回帰式であり、相関係数は $R = 0.20$ である。

図-3, 4, 5より、第一成分は沿岸方向にほぼ一樣な侵

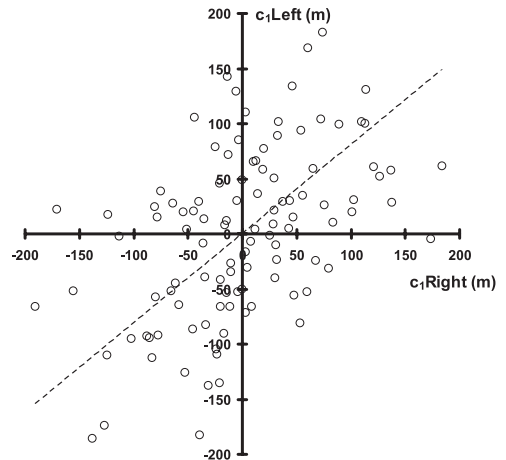
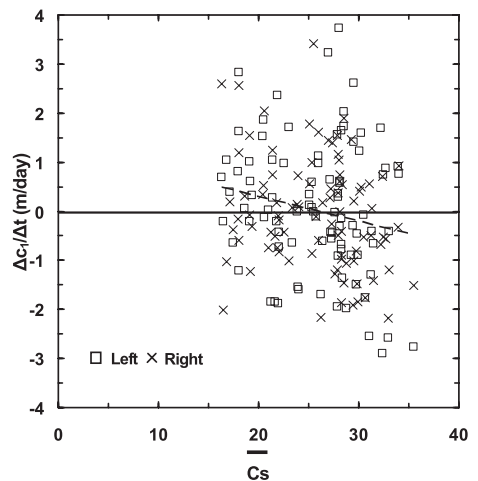


図-4 河口左右岸の第一成分時間関数の比較

図-5 第一成分の時間関数と $\bar{C}_s$ との関係

食・堆積傾向を示す岸沖成分に対応するものであると言える。

b) 第二成分

図-3(c)に見られるように、第二成分の空間関数は汀線に対して傾きを有している。図-6に示された時間関数は左右岸で異符号を有することが多い。これより、この第二成分は海浜に突き出た突堤部での沿岸漂砂遮断による汀線の先進・後退と同様な現象を抽出している。対象河川には河口導流堤が無いにも関わらず、この様な沿岸漂砂遮断効果を示しており、漂砂系における河川の役割を評価する上できわめて重要な知見である。

再合成された第二成分を図-7に示した。沿岸方向の振動モードとともに、図中の破線円で示すように、漂砂下手である左岸側に輸送される河川排出土砂の影響と考えられる汀線の前進が認められる。一方、漂砂上手に位置する右岸側にはこれが見られない。そこで、図-6には河口に最も近い今市橋地点で観測された日平均河川流量 Q も示した。図-7の河口左岸部の突出が見られる時期に、比較的大きな出水が認められる。また、図-6に示した左右岸の時間関数の関係を図-8に示している。ここで、観測期間内において平均された日平均流量 $Q = 10\text{m}^3/\text{s}$ に対する大小により印を変えている。また、 $Q > 10\text{m}^3/\text{s}$ に対応するデータを図-6に縦線で示している。比較的大きな流量の大きいデータは第一象限にプロットされ、凸状の汀線を形成することを示している。それ以外のデータは負の相関を有し、先述の様に突堤周辺の汀線変動に類似した変動に対応していることが分かる。

c) 高次モード成分

図-3(d)の第三成分以降は汀線の高次振動モードを示す成分であり、季節的なカスプの発生を示しているものと考えられる。

カスプの発生と波浪条件との関係を検討するために、砂村(1985)により提案された次の無次元数を算出した。

$$K_s = \frac{H_b^2}{gT^2d} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 H_b : 日平均碎波波高、 g : 重力加速度、 T : 日平均周期である。砂村(1985)によれば、暴浪作用後の

堆積過程において $5 < K_s < 20$ の範囲でカスプの発生が見られる。空中写真が撮影された日の24時間の平均波浪諸元から式(3)の K_s を求め、高次成分の時間関数との関係を図-9に図示した。この結果によれば、第三成分の時間関数が $5 < K_s < 20$ において大きな値を示しており、良好な対応が見られる。これに対して、第四成分、第五成分においては時間関数の大きさが小さく、また、 K_s と明確な関係が見られない。

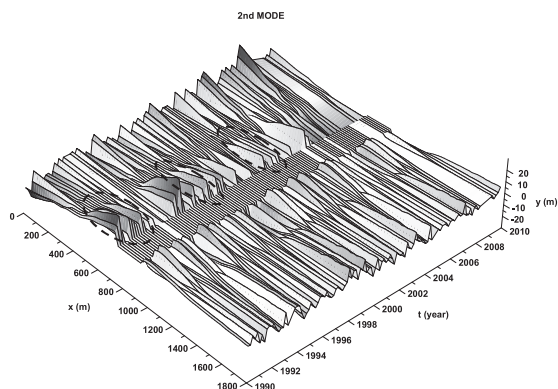


図-7 第二成分の再合成結果

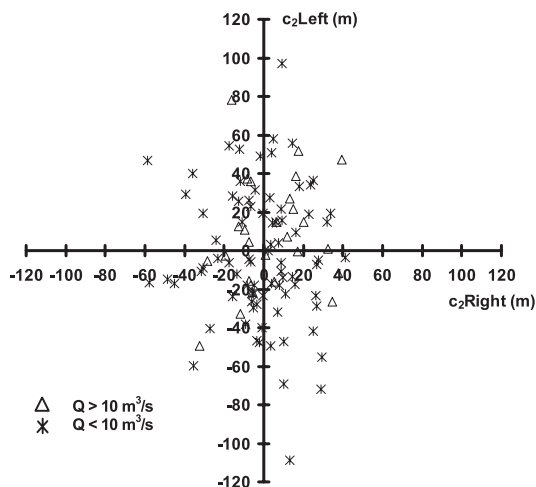


図-8 河口左右岸の第二成分時間関数の比較

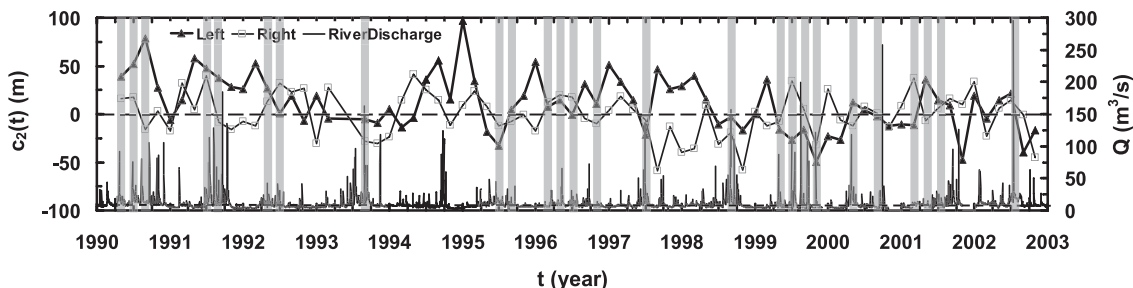
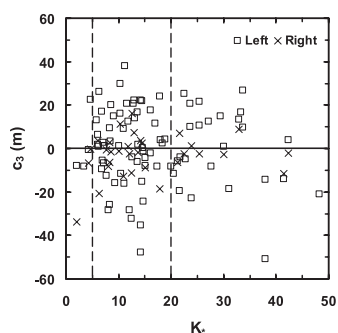
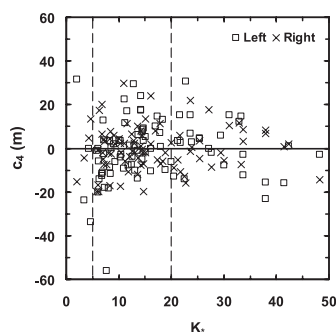


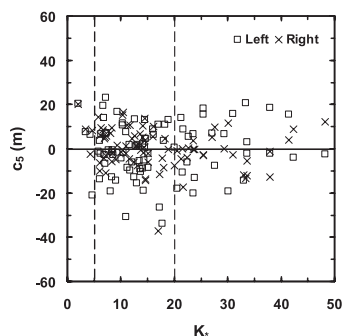
図-6 第二成分の時間関数と河川流量



(a) 第三成分



(b) 第四成分



(c) 第五成分

図-9 K.と時間関数との関係

4. おわりに

本研究においては、七北田川河口部左右岸の海浜を対象として、定期的に撮影された空中写真の解析を行い、変動傾向を把握するとともに、経験的固有関数法により卓越する成分を抽出するとともに、それらと物理現象と

の関連を考察した。今後、外力条件との関係についてさらに詳細な検討を行っていくことが必要である。

謝辞：本研究を行うに当たり、宮城県土木部河川課より七北田川河川流量データの提供を受けた。また、日本学術振興会科学研究費（基盤研究（B）、No.21360230、同No. 22360193）の補助を受けた。ここに記して、深甚なる謝意を表する。

参 考 文 献

- 姜 炫宇・田中 仁・坂上 毅 (2004)：長期現地観測資料に基づく仙台海浜汀線変動特性・土砂収支の検討，海岸工学論文集，第51巻，pp. 536-540。
- 黒澤辰昭・田中 仁 (2001)：空中写真による海浜汀線形状の判読に関する研究，海岸工学論文集，第48巻，pp. 586-590，2001。
- 砂村継夫 (1985)：海浜地形，海岸環境工学，本間 仁監修・堀川清司編，東京大学出版会，pp. 130-146。
- Truong Thien Khang・田中 仁 (2006)：河口テラスの縮退が漂砂系の連続性に及ぼす影響について，海岸工学論文集，第53巻，pp. 616-620。
- 中村聡志 (2008)：河口テラス状地形による沿岸掃流漂砂阻止機能の量的評価，海岸工学論文集，第55巻，pp. 501-505。
- Patchanok Srivihok・田中 仁 (2004)：高頻度空中写真による七北田川河口砂州動態の検討，海岸工学論文集，第51巻，pp. 531-535。
- Fairley, I., Davidson, M., Kingston, K., Dolphin, T. and Phillips, R. (2009): Empirical orthogonal function analysis of shoreline changes behind two different designs of detached breakwaters, Coastal Eng., Vol. 56, Issues 11-12, pp. 1097-1108.
- Hoeke, R.K., Zarillo, G.A. and Synder, M. (2001): A GIS based tool for extracting shoreline position from aerial imagery (BeachTools), Coastal and Hydraulics Engineering Technical Note, CHETN-IV-37, U.S. Army Corps Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
- Miller, J. K. and Dean, R. G. (2006a): Shoreline variability via empirical orthogonal function analysis: Part I temporal and spatial characteristics, Coastal, Eng., Vol. 54, No. 2, pp. 111-131.
- Miller, J. K. and Dean, R. G. (2006b): Shoreline variability via empirical orthogonal function analysis: part II relationship to nearshore conditions, Coastal Eng., Vol. 54, No. 2, pp. 133-150.
- Srivihok, P. and H. Tanaka (2004): Analysis of river mouth behavior change by using aerial photographs, Annual Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 48, pp. 733-738.
- Sunamura, T. and K. Horikawa (1974): Two-dimensional shore transformation due to waves, Proc. 14th Conf. Coastal Engineering, pp. 920-938.
- Winant, C.D., Inman, D.L., Nordstron, C.E. (1975): Description of seasonal beach changes using empirical eigenfunctions, J. Geophys. Res., Vol. 80, No. 15, pp. 1979-1986.