

野蒜海岸を中心とする石巻湾西部沿岸の長期土砂移動量の評価

井上かおり*・田中 仁**・泉 典洋***

石巻湾西端の野蒜須崎浜は湾沿岸から運ばれた漂砂や鳴瀬川の供給土砂により明治前後から発達した。今日、河川上流の治山・治水が進み、また湾中央ではヘッドランド等海岸構造物が設置され、野蒜海岸に流入する土砂移動量の変化が予想される。そこで、これまでの野蒜海岸を形成した土砂移動量を調べるため、ヘッドランドを考慮しない 1998 年以前の長期土砂移動量を評価した。評価方法として、空中写真による汀線解析と野蒜海岸の堆積土砂量の概算、河床変動計算による鳴瀬川供給土砂量の計算、湾西側の沿岸漂砂量の計算を行った。その結果、河川・海岸を含め野蒜沿岸の長期土砂移動量は $10^4 \sim 10^5 \text{ m}^3/\text{s}$ であることが示された。

1. はじめに

砂浜の保全を行なうためには、土砂の供給源である河川や漂砂の連続する海域で土砂移動量を評価し、保全対象である海浜の成り立ちや、将来予測される変化を検討し、対策を立てていく必要がある。

石巻湾の西端に位置する野蒜洲崎浜は、旧北上川河口を含む鳴瀬川河口東側海浜からの沿岸漂砂と、鳴瀬川からの供土砂により形成された。近年、河川整備や沿岸域での海岸構造物設置が進む中、野蒜海浜を形成する土砂移動量の変化が予想される。これまで、石巻湾沿岸の海浜では工業港建設による海岸侵食やその対策であるヘッドランド建設の効果について実態調査が行なわれてきた(望月ら, 1990; 佐藤ら, 1998)。それにより湾内の堆積・侵食土砂量や大曲海岸周辺での沿岸漂砂量が示されたが、湾西端の野蒜海岸については鳴瀬川からの供給土砂量を含め土砂移動量の詳細は明らかにされていない。

本研究は 1998 年以前の野蒜海浜の堆積土砂量、鳴瀬川河口部の供給土砂量、ヘッドランドを考慮しない石巻工業港西側海浜の沿岸漂砂量を計算し、野蒜海岸を中心とした石巻湾西部沿岸の長期的な土砂移動量を評価するのである。

2. 研究対象地域の概要

(1) 石巻湾西部沿岸

研究対象地域は、図-1 に示す石巻湾西端の潜ヶ浦掘削水路から石巻工業港西側海浜に至る全長約 12 km の砂浜海岸と、鳴瀬川本川については河口 0.4 km から 25 km の区間である。

(2) 野蒜海岸

本研究の土砂移動の中心となる野蒜洲崎浜は、図-2 の潜ヶ浦掘削水路から鳴瀬川河口に至る約 2.8 km の自然海浜である。八島 (1998) によると、北上川が石巻湾

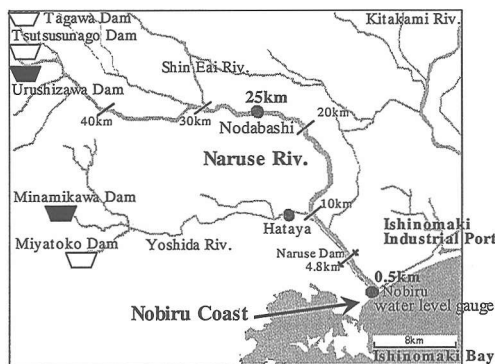


図-1 研究対象領域

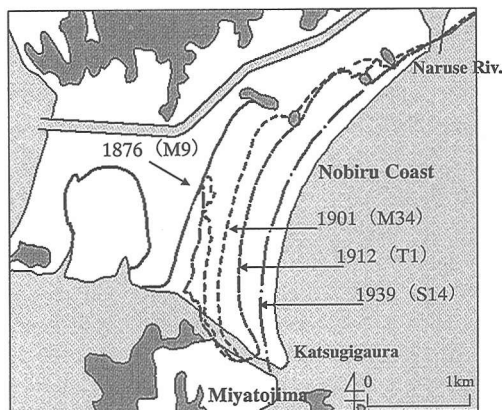


図-2 野蒜洲崎浜の汀線変化

に流入した江戸初期から昭和初期において野蒜海岸に急激な土砂の堆積があったといわれる。明治以降の海図や旧地形図を比較すると、図-2 に示すように海岸線の前進が明らかである。石巻湾西部沿岸の卓越漂砂が西向きである(望月ら, 1990)ことから、野蒜海岸は鳴瀬川供給土砂と鳴瀬川河口東側海浜から運ばれた漂砂によって形成されたと考えられる。

* 工 修 日本建設コンサルタント(株)
** 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
*** 正会員 Ph.D. 東北大学助教授 大学院工学研究科土木工学専攻

(3) 鳴瀬川水系

鳴瀬川水系では、明治維新前後から山林の荒廃が著しく明治43年の大洪水後河川改修が行われた(鳴瀬町誌, 1973)。また、戦後も水源付近の荒廃が甚だしく洪水後に整備が行われ(建設省河川局, 1955)、近年では鳴瀬川上流の漆沢ダム(1980年竣工)、吉田川上流の南川ダム(1987年竣工)建設など治山・治水が進められてきた。

(4) 鳴瀬川河口東側海浜

鳴瀬川河口より東側の浜市・矢本・大曲海岸では、石巻工業港(1964年頃)建設後の海岸侵食対策として、8基のヘッドランド(1990)が建設されている。海浜を8つのポケットビーチに分割することで沿岸漂砂の流出を減らす方向にある。

3. 空中写真による野蒜の堆積土砂量の算定

(1) 算定方法

長期的な土砂移動量の沿岸分布を調べるため、空中写真や旧版地形図・海図から汀線をよみとり、座標変換と潮位補正を行った。各写真の撮影期間における年平均汀線変化量($\Delta x_s/\Delta t$; m/year)に石巻港の西側海浜で評価された漂砂の移動高 $h=6.1$ m(望月ら, 1990)を乗じ、潜ヶ浦から鳴瀬川河口まで沿岸方向に積分することで、土砂移動量 $Q(y, t)$ を算出した。用いた式を以下に示す。

$$Q(j\Delta y, t) = Q(0, t) + \sum_{i=1}^j \left(q_i - h \left(\frac{\Delta x_s}{\Delta t} \right)_i \right) \Delta y \quad \cdots (1)$$

式(1)の y 軸は図-1の潜ヶ浦掘削水路を原点とし、東向きを正とする。また、鳴瀬川からの供給土砂量や原点の土砂移動量、岸沖方向の土砂移動量は無視し、 $Q(0, t) = 0$ m³/year, $q_i = 0$ m³/year/m, $\Delta y = 125$ mとした。

(2) 算定結果

1961年の汀線を基準とする、研究対象領域内の汀線変化を図-3に示す。また、撮影期間における年平均土砂移動量の沿岸分布を図-4に示す。図-3の縦軸は堆積が正で表され、野蒜海岸の堆積が明らかである。図-4の縦軸は西向きの土砂移動量が負で表され、0 kmと2.8 kmの土砂移動量の差が野蒜海岸に堆積した土砂量となる。野蒜の堆積土砂量の経年変化を図-5に示す。1910~1940年は海図や地形図の汀線変化によるものであり、また1940~1960年は米軍撮影の空中写真によるもので潮位補正を行っていない。治山・治水や港湾建設の進んだ1975~1998年で平均すると、野蒜海岸に流入する土砂量は約 $2 \sim 3 \times 10^4$ m³/yearとなった。河川整備が進む以前については、上流山地が荒廃した時期に洪水によって多量の土砂を排出した(鳴瀬町誌, 1973)ことがいわれており、この時期の野蒜海岸に多量の土砂を堆積させた要因の一つでもあったと考えられる。

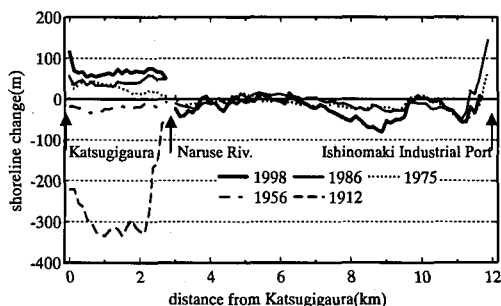


図-3 1961年基準汀線変化

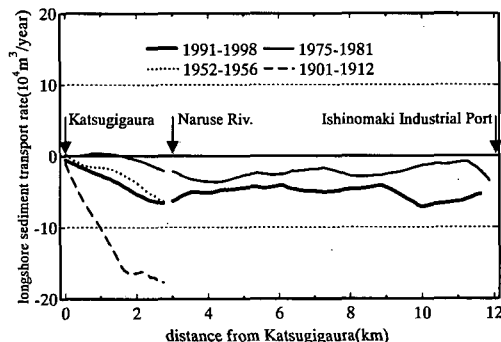


図-4 年平均土砂移動量の沿岸分布

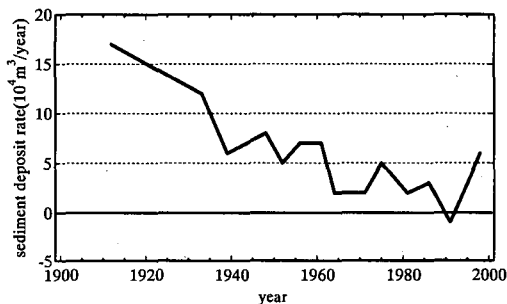


図-5 野蒜海岸の年平均堆積土砂量の変化

4. 鳴瀬川供給土砂量の計算

(1) データ

鳴瀬川から野蒜海浜に供給される土砂量を算定するため、1次元の不等流計算と河床変動計算を行なった。計算に用いたデータは、1978年と1996年測定の鳴瀬川横断面図、1978~1996年の流量(野田橋)・河口水位(野蒜)、1995年と1997年の河床粒径割合である。流量・水位の観測地点は図-1に示される。計算区間は鳴瀬川本川の河口0.4 kmから25 kmの区間で、台形複断面を仮定した。

(2) 計算方法

a) 不等流計算

不等流計算では平常時に日平均流量と日平均河口水位を用いた。一方、日平均流量が 300 m³/s 以上の日は河道内水位が平均高水敷高を超える地点があることから、時間平均流量と時間平均河口水位を用いた。ただし、河口 0.8 km で吉田川が合流するが、ここでは単純に幡谷で観測される日平均流量を足し、流砂量については考慮していない。日平均流量・河口水位の時系列を図-6 に示す。低水路平均河床高や低水路幅、平均高水敷高は 1978 年の縦断分布を放物線近似して用いた。河道地形図を図-7 に示す。

b) 河床変動計算

河床変動計算では掃流砂と浮遊砂を計算した。河床粒径割合は 1995 年と 1997 年のデータを 5 km 区間毎に平均して用いた。河道幅と高水敷高、河床粒径割合は計算期間中変化させず、低水路平均河床高のみ変化させた。掃流砂は芦田・道上 (1972) の式 (2)、浮遊砂には板倉・岸 (1980) の式 (3) を用いた。

$$\frac{q_{Bi}}{\sqrt{sgd_i^3}} = p_i 17 \tau_{*ci}^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*ci}}{\tau_{*ci}} \right) \left(1 - \frac{u_{*ci}}{u_*} \right) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 q_{Bi} ：粒径別単位幅掃流砂量、 p_i ：粒径 d_i の粒子が河床に存在する割合、 τ_{*ci} ：粒径別無次元掃流力、 τ_{*ci} ：粒径別無次元有効掃流力、 τ_{*ci} ：粒径別無次元限界掃流力、 u_* ：摩擦速度、 u_{*e} ：有効摩擦速度、 u_{*ci} ：粒径別限界摩擦速度である。

$$\left. \begin{aligned} q_{sui} &= p_i K \left(a_* \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \frac{g d_i}{u_{*c}} \Omega - w_{fi} \right) \\ \Omega_i &= \frac{\tau_{*ci}}{B_{*i}} \frac{\int_{a'}^{\infty} \xi \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-\xi^2) d\xi}{\int_{a'}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp(-\xi^2) d\xi} + \frac{\tau_{*ci}}{B_{*i} \eta_0} - 1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 q_{sui} ：粒径別浮遊砂の単位面積当たりの河床からの浮上量、 w_{fi} ：粒径別浮遊砂の沈降速度、 $a' = B_{*i}/\tau_{*ci} - 1/\eta_0$ 、 $\eta_0 = 0.5$ 、 $\alpha_* = 0.14$ 、 $K = 0.008$ 、 B_{*i} ：揚力算定の際の速度に摩擦速度を適用するための換算係数である (清水, 1995)。 B_{*i} は混合粒径の遮蔽効果を考慮するため、清水 (1995) を参考に式 (4) で表す。

$$B_{*i} = \xi_i B_{*0} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 $\xi_i = \tau_{*ci}/\tau_{*c0}$ 、 $B_{*0} = 0.143$ 、 τ_{*c0} は粒径 d_i の均一粒径の場合の限界掃流力である。

野蒜海滨の南端を除き、汀線付近の粒径は 0.1 mm 以上であり (図-8)、また、望月ら (1990) によると、石巻湾沿岸の顕著な地形変化の起こる移動限界水深付近の底質中央粒径は 0.15 mm であることから、河口 0.4 km 地点で計算された流砂量のうち、0.1 mm 以上の粒径の総流砂量を鳴瀬川供給土砂量とした。

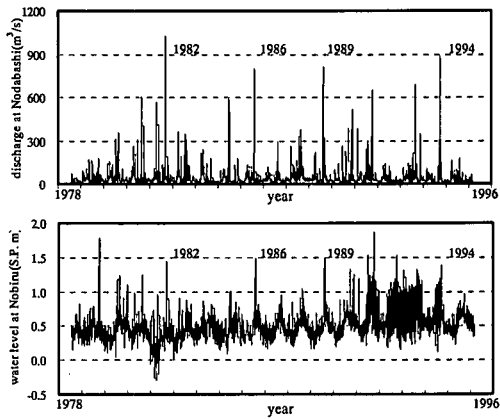


図-6 日平均流量・水位時系列図

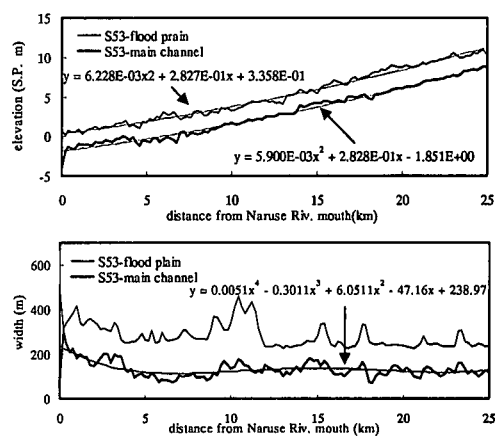


図-7 鳴瀬川河道地形縦断図と近似曲線

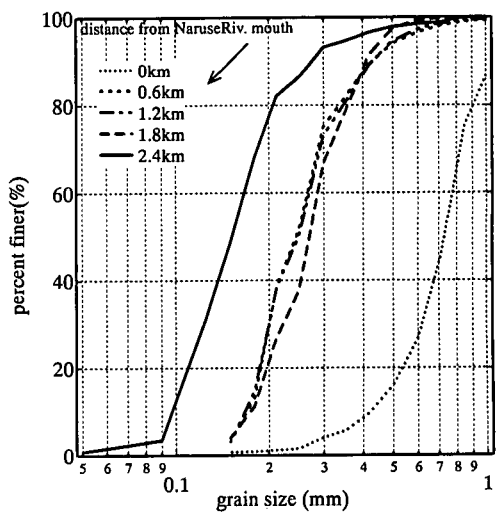


図-8 野蒜海岸の汀線付近の粒径分布

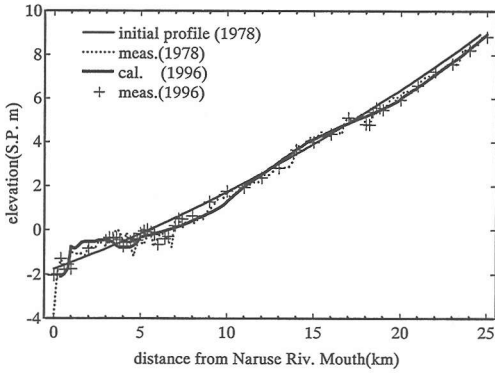


図-9 河床変動計算の結果

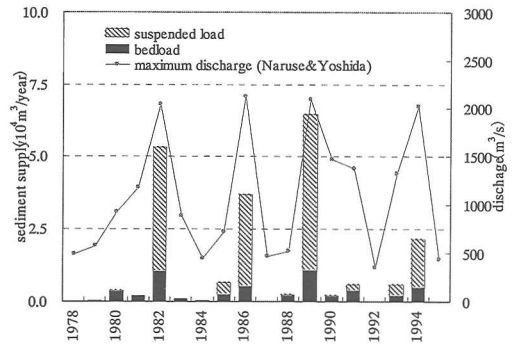


図-10 流砂量計算の結果

(3) 計算結果

河床変動計算の結果を図-9に、0.4 km 地点で計算される 0.1 mm 以上粒径の流砂量を図-10に示す。図-9 図には 1978 年と 1996 年の河床高を合わせて示してあるが、約 18 年間で低水路平均河床高はほとんど変動していない。計算結果も河口部 10 km 付近を除いてほぼ 1996 年の河床高が再現されている。図-10 の掃流砂と浮遊砂の合計を計算期間で平均すると、鳴瀬川供給土砂量は約 $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ となる。

5. 沿岸漂砂量の計算

(1) データ

石巻工業港西側海浜の沿岸漂砂量を簡易的に計算するため、汀線地形を変化させずに漂砂量計算を行なった。地形データは、浅海域については国土地理院発行の 1980 年測量沿岸海域地形図から等深線を読みとった。石巻湾の波浪データは、1 年間を通して欠測や異常波浪が少ない 1996 年と 1997 年の 2 時間平均データを用いた。波浪計算地形と波浪観測点を図-11、データを図-12 に示す。

(2) 計算方法

a) 波浪計算

波向線法を用いて、碎波点の波高と入射角を計算した。入射波は波浪観測点から水深約 100 m の深海域まで逆伝播させ、深海域における波高・波向を湾内に入射させた。

b) 沿岸漂砂量の計算

沿岸漂砂量は小笹・Bramptom (1979) の式 (5) を用いた。

$$Q = (H_B^2 C_{gB}) \left\{ K_1 \sin 2\alpha_{Bs} - K_2 \cos \alpha_{Bs} \frac{\partial H_B}{\partial y} \right\}$$

$$\bar{K}_1 = K_1 / (16(\rho_s/\rho - 1)(1 - \lambda)1.412^{5/2})$$

$$\bar{K}_2 = (K_2 / \tan \beta) / (8(\rho_s/\rho - 1)(1 - \lambda)1.412^{5/2})$$

..... (5)

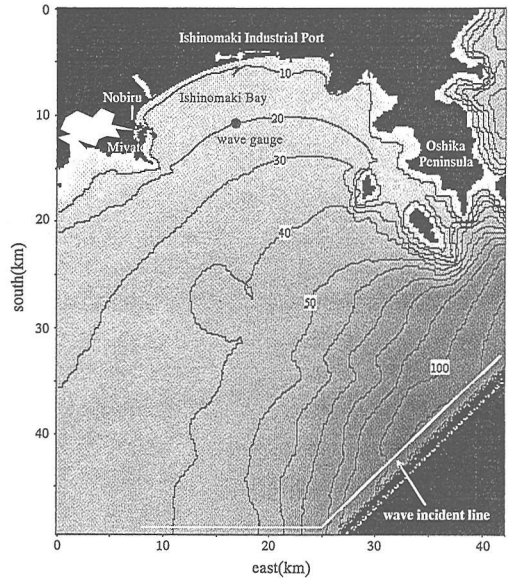


図-11 石巻湾波浪計算地形

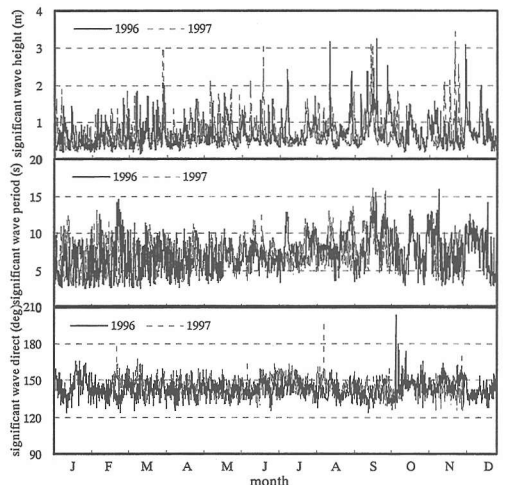


図-12 石巻湾波浪データ

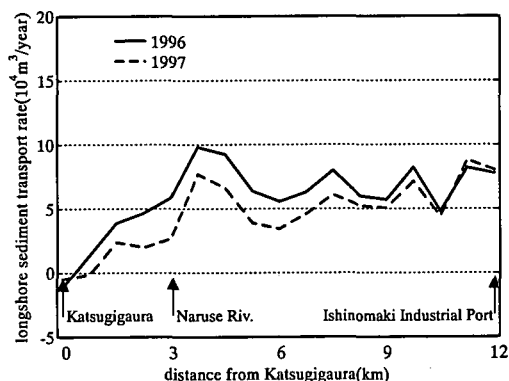


図-13 沿岸漂砂量の分布

式(5)の y 軸は沿岸方向を表し西向きを正とする。
 Q : 沿岸漂砂量, H_B : 碎波点の波高, C_{DB} : 碎波点の群速度, d_{HB}/d_y : 碎波点波高の沿岸勾配, ρ_s : 砂粒子の密度, ρ : 海水の密度, α_{Bs} : 碎波点における波峯線と等深線のなす角度である。ここで, 等深線の y 軸に対する勾配は y 軸方向 500 m 間隔の平均勾配として与え, 波浪計算で得られた碎波点の波高, 波向, 群速度は全て 500 m 間で平均した。式(5)に必要な係数 K_1, K_2 は, 佐藤ら(1998)により, 建設中の大曲海岸ヘッドランド周辺の沿岸漂砂量を計算した時の係数を参考に,

・工業港西側～鳴瀬川河口間: $K_1=0.154, K_2=0$

・野蒜海岸: $K_1=0.154, K_2=1.62K_1 \times 0.75$

とした。ただし, ヘッドランドはないものとした。

(3) 計算結果

沿岸漂砂量の分布を図-13に示す。図-13の縦軸は西向きの沿岸漂砂量が正である。沿岸漂砂量の分布を見ると, 鳴瀬川河口東側海浜では平均 $6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ であり, 野蒜海岸で減少していく傾向にある。佐藤ら(1998)によると大曲周辺の沿岸漂砂量はヘッドランド建設以前に $4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ 程度であるといわれており, 数値的に

は過大であるが, オーダーは妥当な値が算出された。

6. まとめ

野蒜海岸の堆積土砂量は $2 \sim 3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ であり, 鳴瀬川からの流入量は $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{year}$ の結果となった。沿岸漂砂量については他の2つと比較すると過大であるが, これまでに評価された沿岸漂砂量を含めて考えるとオーダーは妥当な値であり, 野蒜海岸周辺で移動する土砂量は年平均で $10^4 \sim 10^5 \text{ m}^3/\text{year}$ になると考えられる。

謝辞: 本研究を実施するにあたり, 国土交通省北上川下流工事事務所から貴重な現地資料を提供頂いた。ここに記して謝意を表する。また, 本研究に対して科学研究費補助金基盤研究(B)(1)(代表者: 田中, 課題番号: 14350262)の補助を受けたことを付記する。

参考文献

- 芦田和男・道上正規 (1972): 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第206号, pp. 59-69.
- 小笹博昭・A. H. Brampton (1979): 鰐岸のある海浜のてい線変化数値計算, 港湾技術研究所報告, 第18巻, 第4号, pp. 77-103.
- 建設省河川局 (1955): 鳴瀬川水系河川現況調査, 第2輯, p. 21.
- 佐藤慎司・山本幸次・和田一範・伊澤武仁・大谷靖朗・橋本 新 (1998): 大曲海岸におけるヘッドランド周辺の漂砂観測と海浜変形予測, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 556-560.
- 清水康行 (1995): 沖積河川の縦断形と河床材料分布形の形成について, 土木学会論文集, 第521/II-32, pp. 69-78.
- 鳴瀬町誌編纂委員会編 (1973): 鳴瀬町誌, 鳴瀬町, pp. 660-931.
- 望月倫也・宇多高明・大類光男・大谷靖郎 (1990): 仙台湾北部沿岸の海浜変形の実態, 海岸工学論文集, 第37巻, pp. 369-373.
- 八島邦夫 (1998): 野蒜洲崎浜の急速な地形発達とその要因についての一考察, 季刊地理学, 第50巻, pp. 329-337.
- Itakura, T. and T. Kishi (1980): Open channel flow with suspended sediment, Proc. ASCE, HY8, pp. 1325-1343.