

汀線変化モデルの漂砂量係数同定に及ぼす検証データの影響

姜 炫宇¹・田中 仁²

現地測量によって得られた汀線データは短期的に生じる岸沖漂砂による海浜地形変化と、長期的に生じる沿岸漂砂による海浜地形変化の双方を含んでいる。このような複雑な海浜地形変化のメカニズムを知るため、本研究では 1996 年から現在まで継続的に蓄積されている仙台海岸汀線データを使用した。岸沖漂砂による汀線変化と沿岸漂砂による汀線変化の双方を含む現地観測データと、経験的固有関数法によって分離した沿岸漂砂量のみによる汀線変化のデータ、さらに一年に一度に間引いた実測データの三種類を使用し、それぞれから得られる漂砂量係数、海岸線位置や沿岸漂砂量の分布を比較することにより、漂砂量係数に及ぼす岸沖漂砂の影響を定量的に検討した。

1. はじめに

仙台海岸は仙台港から相馬港まで約 60km に至る東北地方では数少ない長大な砂浜を有する。この海岸において供給土砂の減少や海岸構造物の建設により近年海岸の侵食が進み、砂浜の消失が危惧されている。仙台海岸に來襲する入射波向は南東方向が卓越しているため、北に移動する沿岸漂砂が卓越する (宇多ら, 1990)。このため、仙台新港、閑上漁港等の港湾構造物の建設や河口導流堤などが沖向きに延伸された場所で沿岸漂砂の一部、またはすべての移動が阻止されることにより、構造物の漂砂下手側海岸で侵食が発生する (田中ら, 1997)。これとは逆に、構造物の漂砂上手では堆積が起こる。さらに、河川での砂利採取やダムによる土砂の流下阻止によって河口からの沿岸に流入する供給砂量が減少したことも海岸侵食の要因として考えられている。

仙台海岸における海浜地形変化を把握するためにこれまで現地測量がなされている (姜ら, 2004)。現地測量によって得られたデータは短期的に生じる岸沖漂砂による海浜地形変化と、長期的に生じる沿岸漂砂による海浜地形変化を含んでいる。その様な複雑な海浜地形変化のメカニズムを知るため、これまで主に岸沖方向の測線データの解析に利用されてきた経験的固有関数法 (Winant ら, 1975; Aubrey, 1979; Aubrey ら, 1980) を利用して、現地で観測した海浜断面測量から得られた複雑な汀線位置データを解析し、岸沖漂砂による成分と沿岸漂砂による成分とが抽出されている (Tanaka・Mori, 2001; 姜ら, 2004)。

本研究では、これまでに得られた仙台海岸の汀線測量データを使用し、汀線変化モデル (one-line model) の漂砂量係数のキャリブレーション結果に及ぼす検証データの影響に関する検討を行った。使用したデータは、①

経験固有関数法によって分離した沿岸方向の漂砂に起因する汀線変動、②二週間間隔の実測された生データ、③通常の現地データの取得間隔を参考に、②のデータから毎年一回 7 月のデータのみをピックアップしたものの三種類を使用している。

2. 研究対象

研究対象地域は図-1 に示す様に仙台港から名取川河口部に至る約 12 km の砂浜海岸である。仙台湾は南東方向に開口する地形であることから、ESE や SE からの波浪が卓越する。このため、海岸全体では北上する沿岸漂砂が卓越している (田中, 1995)。仙台港から南に約 2 km の位置で二級河川七北田川が、約 12 km の位置で一級河川名取川がそれぞれ仙台湾に注いでいる。また、この区域は図-1 の南端の名取川導流堤と北部の仙台港防波堤によって両端が固定されており、土砂収支評価に適している。なお、仙台新港南部約 7 km の位置にある 6 基の離岸堤も沿岸漂砂を遮断する機能を持つ。

3. 使用した現地観測データ

図-1 に示すように、この調査対象地域において汀線

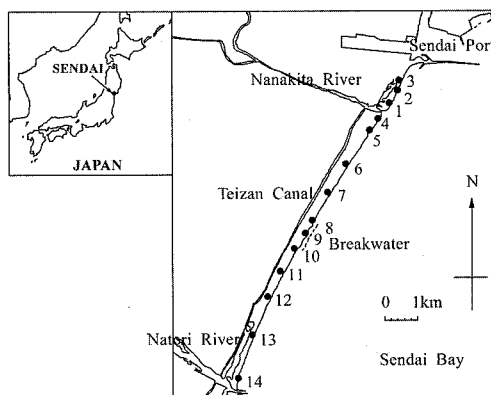


図-1 対象海岸

1 正会員 工博 特別研究員 (独)港湾空港技術研究所

2 フェロー 工博 東北大学教授大学院 工学研究科土木工学専攻

とほぼ直角をなすよう、0.5~1.5 km 間隔の測線を合計 14 本設置した。そして、光波測距儀を用いて各測線において 1996 年 10 月から約 2 週間に一度の割合で海浜断面を測量した。このデータから、T.P. (東京湾中等潮位) +0.0 m に対応する汀線位置を得た。

海岸線変化モデル自体には種々の近似と仮定が含まれるため、現時点では漂砂量係数 K を海岸特有のパラメーターと考え、モデルによる海岸線変化の再現計算を行って決定するのが適当であろう (例えば, Kraus ら, 1984)。

係数 K のキャリブレーションを行う場合、海岸線の長期的変化に関する実測データが必要で、通常、取得間隔が年一回程度のデータや、あるいはそれ以上に時間間隔があいたデータをもとにキャリブレーションを行う。ここで注意すべき点は、データを取得した際に一般には岸沖漂砂による海岸線変化の影響も含んでいることであり、これによりキャリブレーションされた漂砂量係数が誤差を含む可能性がある。

著者らは、経験的固有関数法を利用して、岸沖漂砂による海浜地形変化と、沿岸漂砂による海浜地形変化を含んでいる現地観測海岸線の変化データから汀線位置データを解析し、岸沖漂砂による成分と沿岸漂砂による成分とを抽出した (姜ら, 2004)。

本研究では、現地資料として、1996 年 10 月から 2 週間に一度の割合で行われている現地観測結果を用いた。その計測間隔は通常の現地データに比べて、明らかに非常に短いものとなっている。

海岸線変化モデルの漂砂量係数キャリブレーションに

当たっては、検証のためのデータとして、下記の 3 種類を使用した。

データ 1 : 経験固有関数法によって分離した沿岸方向の漂砂に起因する汀線変動。

データ 2 : ほぼ 2 週間間隔の実測された生データそのもの。

データ 3 : 通常の現地データの取得間隔を参考に、データ 2 から毎年一回 7 月のデータのみをピックアップしたもの。

データ 1 とデータ 2 との比較により、岸沖漂砂に起因する汀線変動がキャリブレーションに及ぼす影響を検討することが出来る。また、データ 3 は現地資料の取得頻度の効果を検討するために作成したデータセットである。

図-2 は測点 4, 測点 10, 測点 13 でのデータを示す。図中で + は実測値された生データ (データ 2) を示す。このデータ 2 は岸沖漂砂の影響で、汀線の変動に短周期の振動が見られるのに対し、経験固有関数法によって分離した沿岸方向の漂砂に起因する汀線位置 (実線, データ 1) にはそれが見られない。一方、実際の現地データはこのように密に取得されることはきわめてまれである。そこで、試みに今回の実測データから年一度のデータとして 7 月のものを取り出したものがデータ 3 であり、図中で◎で示した。年一度程度の観測においては、当然のことながら + 印の実測値に見られる振動を捉えることが出来ない。したがって、このデータを用いたキャリブレーション結果は大きな誤差を含む可能性がきわめて高いことに注意しなければならない。

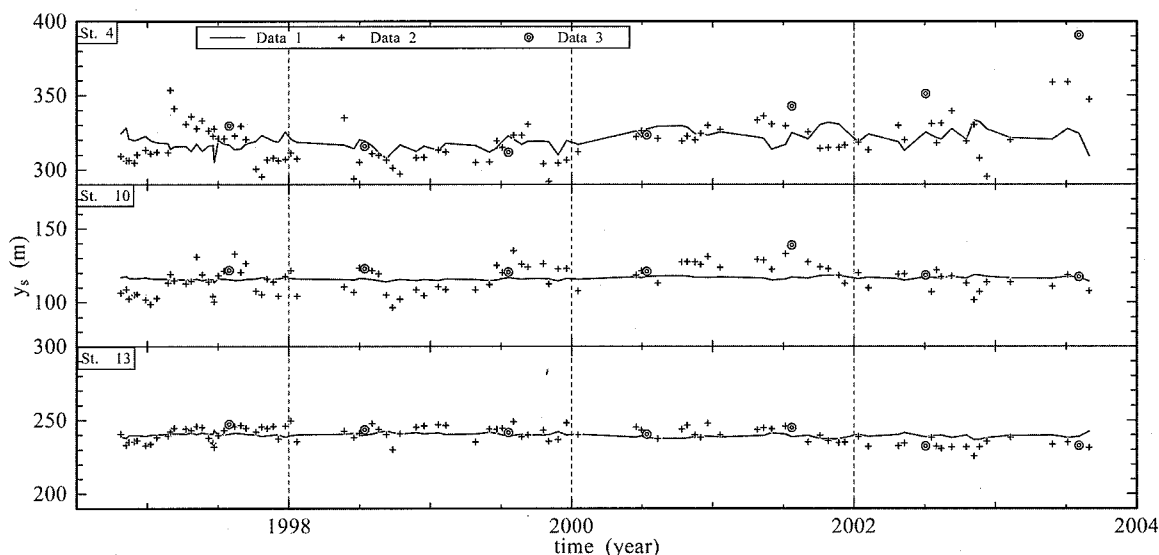


図-2 使用した 3 種類のデータ

4. 海岸線変化モデル

一般的に、海浜の侵食・堆積は海岸線位置から沖側のある水深にまで及ぶが、海岸線変化モデルでは海浜全体の変化を1本の海岸線の変化で表わしている。この時、沿岸漂砂量式と次式の砂の連続式に基づいて海岸線位置の変化を予測する。

$$\frac{\partial y_s}{\partial t} + \frac{1}{D} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} + q \right) = 0 \quad (1)$$

ここで、 y_s : 汀線位置、 t : 時間、 D : 漂砂移動高、 Q : 沿岸漂砂量、 x : 沿岸方向座標、 q : 岸沖漂砂量 (沖向き移動を正) である。

沿岸漂砂量は、砕波点において波のエネルギーフラックスの沿岸方向成分を考慮した CERC 式 (CERC, 1977) を用いることとする。

$$Q = K(E_{cb})_b \sin \alpha_{bs} \cos \alpha_{bs} \quad (2)$$

ここで、 K : 漂砂量係数、 E_b : 砕波点で波のエネルギーフラックス、 c_{gb} : 砕波点における波の群速度、 α_{bs} : 汀線に対する砕波角である。

(1) 計算条件

海岸線の変化をシミュレーションするために、初期汀線は1996年11月の空中写真から判読したものをを用いた。その際、黒澤・田中 (2001) により提案された方法により汀線位置の補正を行った。

境界条件は表-1のように、仙台港防波堤では漂砂移動が完全に遮断されるので沿岸漂砂量がゼロ、また、関上漁港防波堤により北向きの沿岸漂砂が遮断されるので (田中ら, 1997)、名取川から供給される土砂量 (建設省・宮城県, 2000) を計算領域南端部での境界条件として与えた。

差分計算における安定条件を満たすために、時間ステップを2時間とし、また、空間格子間隔は30mとした。さらに、岸沖漂砂量 q については、著者らの以前の検討結果に基づき、 $1.86 \text{ m}^3/\text{year}/\text{m}$ が沖へ流出するとした (姜ら, 2004)。

海岸線変化モデルに用いる平均波浪の諸元を決定するために、1996年11月から2003年1月までの波浪の諸元を各季節 (3~5月: 春季, 6~8月: 夏季, 9~11月: 秋季, 12~2月: 冬季) 毎に算出した。

表-1 沿岸漂砂計算の設定条件

	沿岸漂砂量		河川からの流出量
仙台南防波堤	$Q=0$	七北田川	0
関上港防波堤	$Q=0$	名取川	$Q_R=10.000$ ($\text{m}^3/\text{year}/\text{m}$)
沿岸漂砂の移動高 D		8 m	

各季節別平均波の諸元を決定するにあたって、エネルギーフラックスの合計が保存されるように波浪の特性及び方向を定めた。

このように各季節について決定した平均波浪の諸元を表-2に示す。この波の諸元を用いて海岸線変化のシミュレーションを行う。

季節別にみると、波高は冬期の波が低く、春季と秋期の波が高い。周期については冬期の波が長く、夏期の波が短い。波向きに関してはESE~SEが卓越することが分かる。

空中写真から判読した初期汀線を初期条件として、境界条件を加味し4つの季節の波浪諸元を用いて、1996年11月から約7年後の2003年8月までの汀線変化を計算した。

表-2 波浪の諸元

	春季 3~5月	夏季 6~8月	秋季 9~11月	冬季 12~2月
波高 (m)	0.94	0.92	1.01	0.77
周期 (s)	8.16	7.91	8.78	9.15
波向 (°)	122.60	122.18	119.98	116.74

(2) 海岸線変化の計算結果

汀線変化モデル中に漂砂量係数 K を0.02, 0.03, 0.04とした計算結果と実測結果との比較を図-3に表す。図-3上段図の2000年7月14日の計算結果によれば、データ1とデータ3に大きな差は見られない。一方、図-3下段図に示した2003年7月の計算結果と実測結果によれば、 $x=3,000 \text{ m}$ あたりの七北田川河口付近において二つのデータセットに差違が見られる。

(3) 漂砂量係数のキャリブレーション結果

汀線変化モデル中の漂砂量係数 K のキャリブレーションを行うために、この係数を0.01から0.09まで0.01ずつ増加させ、それぞれの汀線変化を計算した後、検証データとの差を定量的に評価した。そのために、次式により計算値の平均誤差 $Error$ を見積もった。

$$Error = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_t} \sum_{j=1}^{N_x} (y_{s(cal)}(i,j) - y_{s(meas)}(i,j))^2}{N_t N_x}} \quad (3)$$

ここで、 $y_{s(cal)}$: シミュレーションによる汀線位置、 $y_{s(meas)}$: 検証データの汀線位置、 N_t : 検証期間内の実測回数、 N_x : 総測点数である。

3種類のデータセットにより得られる計算結果の誤差平均値を図-4に示す。横軸の漂砂量係数 K を変化させることにより、誤差の最小値が得られている。経験的固有関数法で沿岸漂砂に起因する成分を分離したデータ1では、他の二つのデータに比べて、全体的に誤差が小さ

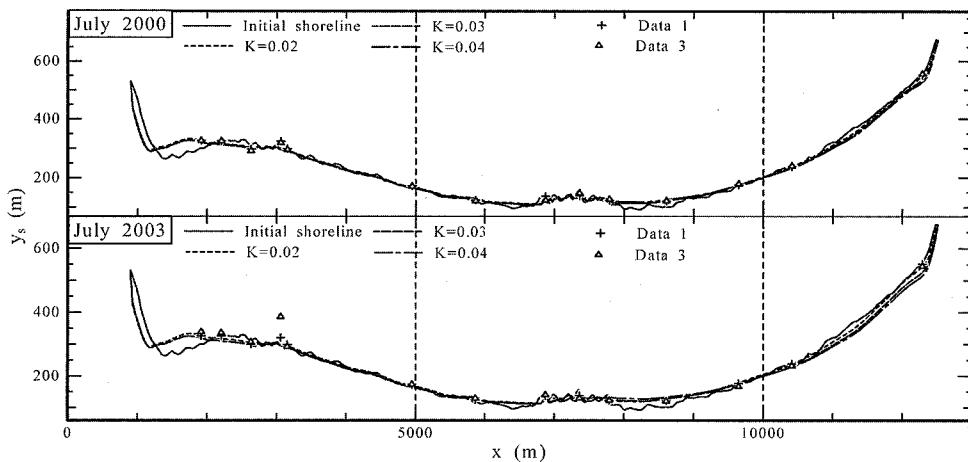


図-3 海岸線変化と実測データとの比較

くなっていることが明らかである。経験的固有関数法により分離を行っていないデータ2では、最適化された漂砂量係数はデータ1によるものとはほぼ同じ値であるが、データ1の計算に比べて誤差が大きい。測量期間が非常に短いデータ2は岸沖漂砂による汀線変化の影響を含むものの、長期的トレンドを包含しているために、データ1に比べ誤差は大きいものの最適化された係数自体は同じ値になっている。これに対し、実際の現地でのデータ取得間隔を想定したデータ3による漂砂量係数キャリブレーション結果では、時間的に疎なデータであることから、誤差自体も大きく、また最小値の現れ方が幾分不鮮明である。

(4) 沿岸漂砂量の計算結果

図-4の結果に基づき、漂砂量係数 K の値を 0.02, 0.03, 0.04 として、それぞれの沿岸漂砂量を算出し、長期現地観測資料に基づいて求めた沿岸漂砂分布(菱ら, 2004)と比較を行った。その結果を図-5に示す。

実測データによる沿岸漂砂分布の推定にあたっては、経験固有関数により分離した第二成分の汀線変化速度および河川流出土砂を使用し、さらに、沖へ流出する土砂量 ($1.86\text{m}^3\text{year/m}$) を加味することとした。式(1)を、対象領域 ($x_1 \leq x \leq x_2$, x_1 : 仙台港湾防波堤, x_2 : 名取川河口) において漂砂量がゼロとなる領域末端 x_1 から、任意の点 x まで積分すれば、次のように漂砂量式を得る(菱ら, 2004)。

$$Q(x) = -D \int_{x_1}^x a_2 e_2(x) dx - qx \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 $a_2 e_2(x)$: 経験固有関数により分離した第二成分から推定される汀線変化速度である。

図-4によれば、データ1とデータ2による漂砂量係

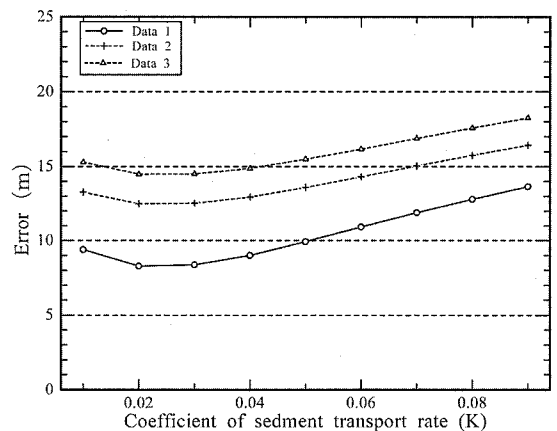


図-4 漂砂量係数と誤差の関係

数の最適値は 0.02, 0.03 周辺に存在する。一方、図-5に示した結果によれば、漂砂量係数の値が 0.02 の時に実測データから求めた沿岸漂砂と良く一致している。漂砂量係数の値が 0.03 のものは多少差があることが分かる。

さらに、図-4によれば、データ3を用いて漂砂量係数のキャリブレーションを行った時、漂砂量係数値が 0.02, 0.03, 0.04 の時に誤差がほとんど同程度であるが、図-5によれば、漂砂量係数の値が 0.04 のものは他の計算値に比べて大きな隔たりがあることが分かる。

5. 結 論

仙台北岸を対象として、経験的固有関数法を用いて分離した沿岸漂砂による海岸線変化(データ1)と、岸沖漂砂・沿岸漂砂の双方による海岸線変化を含む二種類の

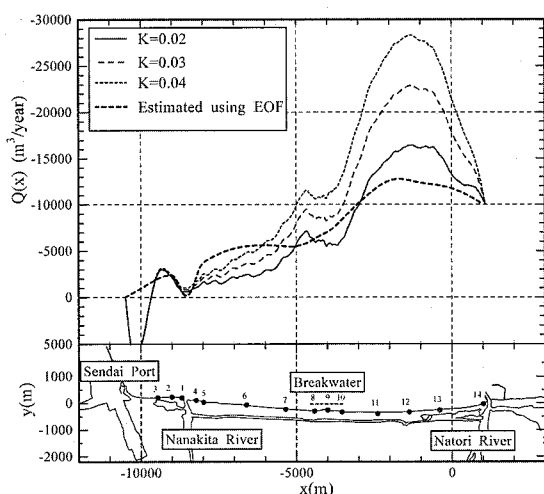


図-5 沿岸漂砂量分布

実測データ（データ2とデータ3）を利用した海岸線変化シミュレーションを行い、これらの検証に用いるデータの相違が漂砂量係数のキャリブレーションに及ぼす影響に関して検討を行った。

この結果、経験的固有関数法によって分離した汀線データを用いることにより、計算と実測の全体的な誤差が小さくなっていることが分かった。このようにキャリブレーションに使用するデータの特長により漂砂量係数のキャリブレーション結果が異なることがわかった。特に、長期的トレンドが要求される場合、実測したデータを経験的固有係数法展開によって岸沖漂砂・沿岸漂砂による海岸線変化に分離することの重要性が示された。

参考文献

- 宇多高明・小俣 篤・峯松麻成(1990)：仙台湾沿岸における砂浜消失の危機，海岸工学論文集，第37巻，pp. 479-483。
- 姜 炫宇・田中 仁・坂上 毅(2004)：長期現地観測資料に基づく仙台湾沿岸汀線変動特性・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。
- 建設省（現国土交通省）東北地方建設局・宮城県土木部(2000)：仙台湾沿岸技術調査委員会報告書，72 p。
- 田中茂信・佐藤慎司・小関賢次・佐々木健一・大谷靖郎・橋本新(1997)：仙台湾南部海岸における構造物周辺の土砂移動観測，海岸工学論文集，第44巻，pp. 556-560。
- 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号／Ⅱ-30，pp. 169-181。
- 橋本 宏・宇多高明(1981)：経験的固有関数による海浜地形変化の解析，土木学会論文報告集，第305号，pp. 59-71。
- Aubrey, D. G. (1979)：Seasonal patterns of onshore/offshore sediment movement, J. Geophysical Research, Vol.84, No.C10, pp. 6347-6354。
- Aubrey, D. G., D. L. Inman and C. D. Winant(1980)：The statistical prediction of beach changes in Southern California, J. Geophysical Research, Vol.85 No.C6, pp. 6264-6276。
- Coastal Engineering Research Center (1977)：Shore Protection Manual, U.S. Army Corps of Engineering, U. S. Government Printing Office, 3 Vols。
- Kraus, N. C., H. Hanson, and S. Harik(1984)：Shoreline change at Oarai Beach-Past, present and future, Proceedings of 19th International Conference on Coastal Engineering, ASCE, pp. 2107-2123。
- Tanaka, H. and T. Mori(2001)：Separation of shoreline change caused by cross-shore and longshore sediment transports, Proceedings of Coastal Dynamics, pp. 192-201。
- Winant, D. C., D.L. Inman and C.E. Nordstrom(1975)：Description of seasonal beach changes using empirical eigenfunction, J. Geophysical Research, Vol.80, No.15, pp.1979-1986。