

II - 99

仙台海岸の汀線変動と漂砂量係数に関する研究

東北大学大学院 学生会員 ○姜 炫宇

東北大学大学院 フェロー 田中 仁

1. はじめに

相馬港から仙台港に至る約 60 km の海岸は、東北地方では数少ない長大な砂浜を有する。来襲する入射波向は主として南東方向であるため、北に移動する沿岸漂砂が卓越する。しかし、近年、仙台海岸においては海岸構造物の建設に伴って沿岸漂砂が遮断される。また、河川からの供給土砂量が減少したことなどの理由により海岸侵食が進み、砂浜の消失が懸念されている¹⁾。

同海岸における侵食の実態を明らかにするために、著者らのグループでは海浜変形調査を実施している。1996 年 10 月から 2 週間に一度の割合で現地観測が行われている。また、経験的固有関数法を用いて沿岸方向の汀線位置データを展開して、現地で観測された複雑なデータについて沿岸成分・岸沖成分の抽出などが行われている²⁾。

本研究では、経験的固有関数法により抽出した沿岸漂砂に起因する成分からの汀線変化と、汀線変化モデルにより得られた汀線変化を比較検討した。

2. 経験的固有関数法

経験的固有関数解析を用いれば、空間と時間に関する直交関数を経験的に決定することが出来、次式のように固有関数の重ね合わせにより表現することができる。

$$y(x, t) = \sum_{n=1}^{n_t} C_n(t) e_n(x) \quad (1)$$

ここで、 $y(x, t) = y_s(x, t) - \bar{y}(x)$ ：平均汀線位置からの変動量、 $y_s(x, t)$ ：基準点から汀線までの距離、 $\bar{y}(x)$ ：基準点からの平均汀線距離、 x ：沿岸方向座標、 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。このために、まず実測データから次のような要素を持つ相関行列を計算する。

$$A = [a_{ij}] = \frac{1}{n_x n_t} \sum_{i=1}^{n_x} \sum_{j=1}^{n_t} y_{it} y_{jt} \quad (2)$$

ここで、 A ：相関行列、 n_t ：測定回数である。

相関行列の固有値・固有ベクトルを算出することにより、時間に関する固有関数と空間に関する固有関数を式 (3) のように得ることができる。

$$A e_n = \lambda_n e_n, \quad C_n(t) = \sum_{i=1}^{n_x} y(x, t) e_n(x) \quad (3)$$

ここで、 λ_n ：固有値である。また、 n 番目の固有関数の重要度を示すパラメータとして、寄与率 R_n が次のように定義される。

$$R_n = \frac{\lambda_n}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (4)$$

第一成分と第二成分の寄与率はそれぞれ 38.7% と 17.8% であったが、ここでは第二成分のみを考慮する。空間の固有関数の分布については、図-1 に示すように、離岸堤群の左右と七北田川河口付近で正負が逆転することに特徴がある。これは沿岸漂砂が南から北に移動し、離岸堤および七北田川河口部を挟んで汀線の前進・後退が対称的であることを意味する。以上より、第二成分は沿岸漂砂に起因する汀線変化を示していると考えられる³⁾。

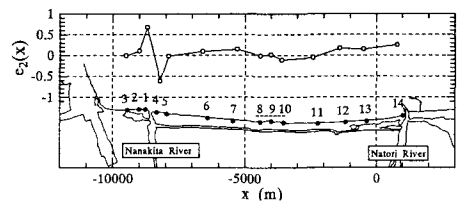


図-1 固有関数の空間分布

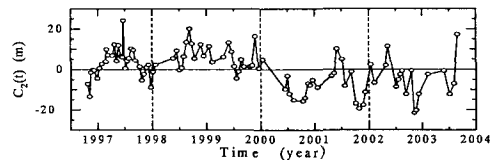


図-2 固有関数の時間変化

3. 汀線変化モデル(One-Line Model)

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、one-line 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、沿岸漂砂量式と漂砂の連続式に基づく次式により海岸線の変化を予測する⁴⁾。

$$\frac{\partial y_s}{\partial t} + \frac{1}{D} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} + q \right) = 0 \quad (5)$$

ここで、 D ：漂砂移動高、 t ：時間、 Q ：沿岸漂砂量、 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⁵⁾を用いる。

$$Q = K(Ec_g)_b \sin \alpha_{bs} \cos \alpha_{bs} \quad (6)$$

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。

シミュレーションにあたっては、1996 年 10 月の実測データを初期汀線とし、6～7 年後の汀線変化を計算した。汀線変化モデル中に漂砂量係数 K をキャリブレーションするため、 $K=0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06, 0.07, 0.08, 0.09$ として、それぞれの汀線変化を計算した。それぞれによる海岸線の変化と経験的固有関数によって分離した沿岸方向の漂砂に起因するデータから汀線変化の誤差 E_{sep} 、実測した生データによる汀線変化の誤差 E_{sur} を次の式によって求めた。

$$E_{sep} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_t} \sum_{j=1}^{N_x} (y_{s(cal)}(x_{i,j}) - y_{s(sep)}(x_{i,j}))^2}{N_t N_x}} \quad (7)$$

$$E_{sur} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_t} \sum_{j=1}^{N_x} (y_{s(cal)}(x_{i,j}) - y_{s(sur)}(x_{i,j}))^2}{N_t N_x}} \quad (8)$$

ここで、 $y_{s(cal)}$ ：シミュレーションした汀線の位置、 $y_{s(sep)}$ ：経験的固有関数によって分離した沿岸方向の漂砂に起因するデータから汀線の位置、 $y_{s(sur)}$ ：実測したデータによる汀線の位置、 N_t ：2002～2003 年の 2 年間実測した回数(=18)、 N_x ：総測点数(=14)である。

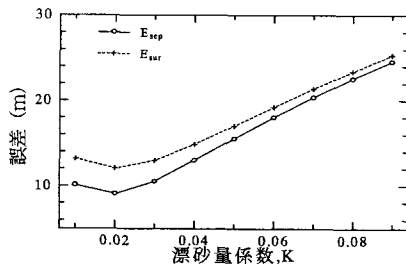


図 - 3 漂砂量係数 K と誤差の関係

結果は図-3 に示したようである。図より、経験的固有関数による分離した沿岸方向の漂砂に起因するデータの場合と実測データの場合二つとも漂砂量係数が 0.02 の時に誤差がもっとも一番小さい。よって、係数のキャリブレーション結果として $K=0.02$ を得る。

4. 汀線変化の比較

キャリブレーションにより得た漂砂量係数 K が 0.02 の時、それぞれの測点で誤差の沿岸方向の分布を図-4 に示している。図より、生データの誤差よりも、経験的固有関数によって分離した沿岸漂砂に起因する汀線データの誤差が小さいことが分かる。これより、経験的固有関数展開によって分離することの重要性が示された。

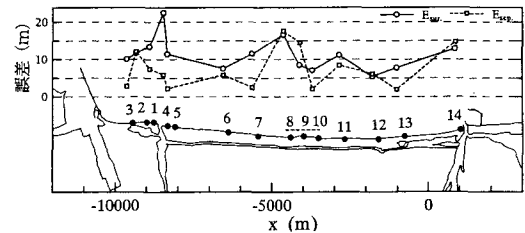


図 - 4 各測点での誤差

5. おわりに

経験的固有関数法によって分離した沿岸漂砂に起因する汀線データを用いることにより、実測の生データよりも、シミュレーションとの差が小さくなることが分かった。ただし、最適化された係数の値自体は同じものであった。このように、岸沖漂砂の影響を含んだ実測データにより one-line model の沿岸漂砂量係数キャリブレーションを行うときには注意が必要である。

謝辞

本研究に対し、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を代記する。

参考文献

- 1) 宇多高明・小俣 篤・峯松麻成：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, 1990.
- 2) Tanaka, H. and Mori, T.: Separation of shoreline change caused by cross-shore and longshore sediment transports, Proc. Coastal Dynamics, pp. 192-201, 2001.
- 3) 姜 炫宇・田中 仁・坂上 毅：長期現地観測資料に基づく仙台湾岸汀線変動特性・土砂収支の検討，海岸工学論文集，第 51 巻，pp.536-540, 2004.
- 4) Horikawa, K.: Nearshore Dynamics and Coastal Processes, Tokyo Univ., Press, 522p, 1988.
- 5) Coastal Engineering Research Center: Shore Protection Manual, U.S. Army Corps of Eng., U. S. Govt. Printing Office, 3 Vols, 1977.