

海面上昇に伴う感潮狭口の流積変化予測

近 藤 俣 郎*

1. ま え が き

地球温暖化などの環境の変化に伴って予想される顕著な海面上昇傾向は、国土保全上緊急な対策を要する課題であることから、その沿岸域に及ぼす影響に関する研究の進展が望まれている。

海面上昇が沿岸域に及ぼす影響についてのこれ迄の研究は、主に外海に面した様な砂浜海岸の海浜断面形の変化や (Bruun, 1983; Everts, 1985), それに関連した土砂収支 (Dean, 1987) に限られている。

潮汐による流出入流量が大きいため、河口並びに海岸湖沼の沿岸では (図-1 参照), その水位は狭口を通過する潮流流量に支配されていて、外界潮汐とは異なる値を示すことは良く知られている。漂砂海岸の感潮狭口の流積はタイダルブリズムと沿岸漂砂量に支配されているので (例えば近藤, 1979), 湾内などの水面上昇を推定するに際しては、最初に狭口流積の変化を予測しておくことが大切である。

加えて近年では内水面を種々の目的に利用するため、多くの狭口は護岸や導流堤などの人工的施設を備えている場合が殆どである。したがってそれら施設・構造物の

将来の安全性と機能を検討するためにも、流積変化予測が必要である。

本論文は外海面の上昇による感潮狭口の流積の変化を筆者が先に求めた安定流積の推定式を発展させ、予測する基本的手法を示すこととする。

2. 感潮狭口の安定流積

感潮狭口の最小安定流積 (平衡流積とも呼ばれる) A_0 は、多くの研究者によって調べられている (近藤, 1979)。そのうちの近藤 (1974) のもとは、下式で与えられた。

$$P/A_0 = K_s \sqrt{a_s g T} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 P は潮汐の半周期の間に狭口を出入りする水の全量 (m^3), a_s は海の潮汐の振幅 (潮差の 1/2 に相当), T は潮汐の周期そして g は重力加速度である。 K_s は無次元の係数であり、その値は狭口海側の沿岸漂砂量 M_t ($m^3/年$), 潮流のピーク流量 Q_m (m^3/s) そして導流堤の有無あるいは数 (1 か 2) で定まる。(1) 式は元来、最大流速水深の理論式をもとに導びかれたもので、 K_s は日本とアメリカ合衆国の感潮狭口のデータから定められた。図-2 はその関連の図であり、 K_s は図中の直線で示してあるように下の値であるとした。

$$\left. \begin{aligned} K_s &= 0.22, \text{ ただし } M_t/Q_m > 300 \\ K_s &= 0.15, \text{ ただし } M_t/Q_m < 30 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

同図左下の追加部は Mayor-Mora (1973) による移動床実験のデータをプロットしたものである。実狭口のデータに比べると、 P/A_0 の値は少し大きい¹⁾、大略(1)式の関係を満足していることが認められる。

図-3 は 図-2 を無次元化して、 $(P/A_0 \sqrt{a_s g T})$ を (M_t/Q_m) の関数として表現したものである。実験データ中の波がある場合は M_t があると考えられるが、量的には不明なので図中右端に、潮汐のみの場合のデータは左端に置いている。図中の直線は下式を与える。

$$P/A_0 \sqrt{a_s g T} = 0.1 [M_t/Q_m]^{0.1} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここでタイダルブリズム P は単調和潮汐を対象とするとして下式で求められる。

$$P = Q_m T / \pi = A_0 U T / \pi \quad \dots\dots\dots (4)$$

湾の水位を一樣とすると、下式も成り立つ。

$$P = 2a_b S \quad \dots\dots\dots (4')$$

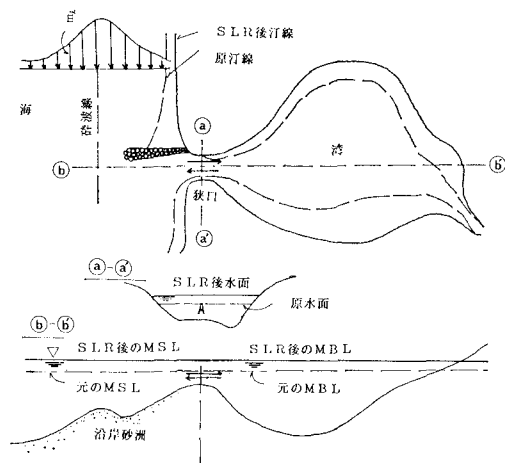


図-1 感潮狭口の略図

* 正会員 工博 室蘭工業大学教授 建設システム工学科

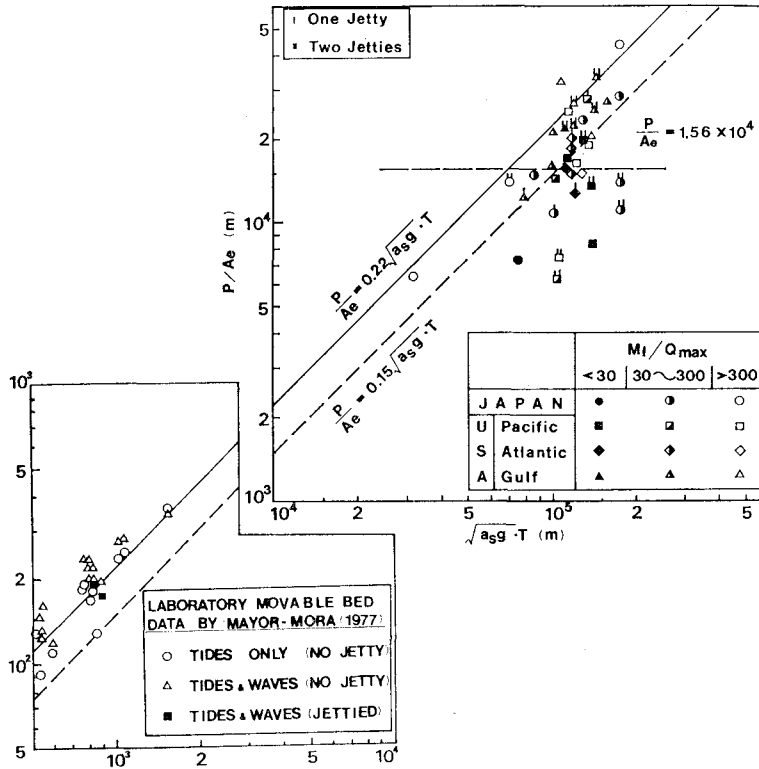


図-2 P/A_e と $\sqrt{a_s g} \cdot T$ 及び M_i/Q_m の関係

(3) と (4) の両式から安定流積は

$$A_e = 1.02 Q_m^{1.1} a_s^{-0.5} M_i^{-0.1} \quad (\text{m}^2) \quad (5)$$

として表現される。ピーク潮流流速 U と、湾内潮汐の振幅 a_b の単調和波としての解は下式で与えられる(近藤, 1972)。

$$U = \frac{1}{p} \sqrt{\frac{1}{2} [- \{ (\alpha/\sigma^2) - 1 \}^2 + \sqrt{ \{ (\alpha/\sigma^2) - 1 \}^4 + 4(\beta p/\sigma^2)^2 }]} \quad (6)$$

$$a_b = a_s \left(\frac{\alpha}{\sigma^2} \right) \sqrt{\frac{1}{2} [\{ (\alpha/\sigma^2) - 1 \}^2 + \sqrt{ \{ (\alpha/\sigma^2) - 1 \}^4 + 4(\beta p/\sigma^2)^2 }]} \quad (7)$$

ここで,

$$\alpha = Ag/lS \quad (8)$$

$$\beta = a_s g \sigma / l \quad (9)$$

$$n_r = n \sqrt{1 + (f_c R^{4/3} / 2gl n^2)} \quad (10)$$

$$p = 4\pi n^2 g T \quad (11)$$

ただし, l は水路長, $\sigma = 2\pi/T$ そして n はマニング式の

粗度係数とする。

3. 流積予測の手順

(3) 式を用いて平均海面上昇後の安定流積 A_e の予測を行なう手順は、凡そ図-4 になる。

ここで留意事項として、下記に従うことにする。

(1) Q_m , P の計算には、潮汐の支配的な周期(半日潮か日潮)の単調和波につき前出の解析解を用いる。

(2) 内水域表面積 S と狭口流積 A の初期値は、元の水面を、海面上昇値 $\bar{\eta}_s$ だけ上昇させた場合の値とする。

(3) M_i に対する海面上昇の影響は無視でき、単位長沿岸漂砂量 m_i の分布は岸側にずれるのみとする。

(4) (3) によって海面上昇で狭口兩岸の砂州や導流堤によって捕捉される漂砂量の増分 ΔM_i を次式で推定する。

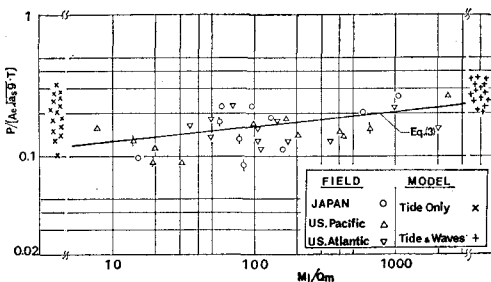


図-3 $P/[A_e \sqrt{a_s g} T]$ と M_i/Q_m の関係

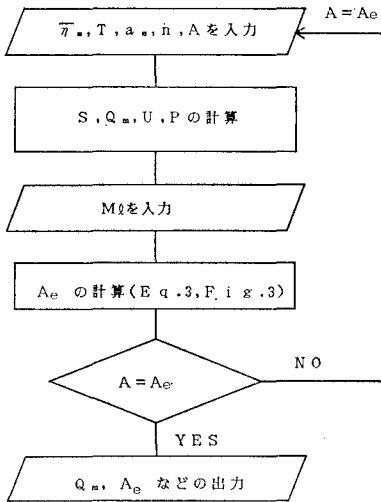


図-4 海面上昇による安定流積推定手順

$$\Delta M_t = \int_n^{h+\bar{s}} m_t dh \dots\dots\dots(12)$$

そして海面上昇後の有効沿岸漂砂量 M_t' を次式とする。

$$M_t' = M_t - \Delta M_t \dots\dots\dots(13)$$

4. 流積変化の傾向

(5) 式から安定流積の変化率 $\Delta A_e/A_e$ は下のようにおける。

$$\frac{\Delta A_e}{A_e} = 1.1 \left(\frac{\Delta Q_m}{Q_m} \right) - 0.5 \left(\frac{\Delta a_s}{a_s} \right) - 0.1 \left(\frac{\Delta M_t}{M_t} \right) \dots\dots\dots(14)$$

これよりピーク流量の変化率が流積変化に及ぼす効果が大きく、次いで外海潮差で沿岸漂砂量の変化率の順である。通常の感潮狭口の例では

$$\alpha/\sigma^2 \gg \sqrt{\frac{\beta p}{\sigma^2}} \gg 1 \dots\dots\dots(15)$$

であることを考慮すると、ピーク流速の近似値は

$$U \div \frac{\beta}{\alpha} = \frac{a_s \sigma S}{A} \dots\dots\dots(16)$$

と近似できるので、 $\Delta Q_m/Q_m \div \Delta S/S$ である。

海面上昇による外海潮差の変化については今のところあまり明らかになっていないようであり、Prantle(1989)が欧米の大河川の上流における潮位に及ぼす影響を調べて、地域差が大きいことを指摘しているに留っている。

沿岸漂砂量に対する影響については、3節の(4)の仮定からすると捕捉漂砂量が増加することを招き、有効沿岸漂砂量は減少する。岸沖方向の単位長当り沿岸漂砂量の分布形に関する既往の研究を参照すると(例えば土屋・安田, 1987)、砕波水深より少し岸側で漂砂量が最大になる。したがって砕波水深が小さい海岸に面する狭口では、海面上昇に伴う M_t の減少が大きくなる。その程

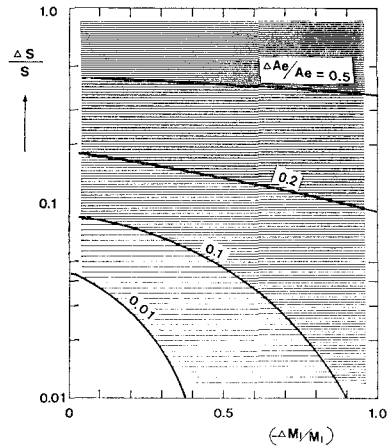


図-5 安定流積変動傾向とその要因

度は、 $\bar{s} \div 1$ (m) で、 $(-\Delta M_t/M_t) < 0.3$ と考えられる。

以上のことを参照にして、 a_s が変化しない場合の A_e の変化率は(14)式から図-5のようになる。これより顕著な流積変化($\Delta A_e/A_e > 0.5$)が予想されるのは、表面積の変化が40%以上の場合である。そのようなケースは、緩かな河岸をもつ小規模な内水域であろう。その場合の狭口が水路幅も可動な自然水路であれば問題は少ないが、護岸などで水路幅員が固定されていると流積変化が直ちに水深変化となり、洗掘深が大となる。

5. 能取湖口水路についての検討

能取湖はオホーツク海に面する表面積約 58 km² の海岸湖沼である。1974 年迄は毎年春の融雪期に開口し、秋の季節風による漂砂で閉塞する自然湖口を有していた(近藤ら, 1968)。そうした不便の解消と湖内漁港の建設や沿岸漁場としての利用などの目的で、1974 年 5 月に人工的水路が開通した。図-6 は水路周辺の等深線の変化を水路建設以前と建設後の三時点について比較したものである。建設後 2 年を経た 1976 年には二基の突堤状防砂堤と水路の片側に護岸を有している。7 年後の 1981 年には西側防砂堤の先端を斜めに延長し、また水路両岸に護岸を設けている。海底地形の変動は防砂堤の建設あるいは延長にともなって、10 m 以深に及んでいるが、汀線近傍の変化はあまり大きくないと認められる。

狭口水路部の流積について前出の結果を応用して、平均海面上昇にともなう新たな安定流積を推定することとする。計算上の条件は下の通りである。

外海潮汐: $T = 8.94 \times 10^4$ (sec), $a_s = 0.3$ (m)

水路諸元: $B = 200$ (m), $l = 200$ (m)

$n = 0.02$, $f_e = 1.5$

平均海面上昇値 $\bar{s} = 0 \sim 2$ (m)

なお海面上昇に対応する内水域表面積 S の推定は地形図からプラニメターによって行なった。 M_t の値は、こ

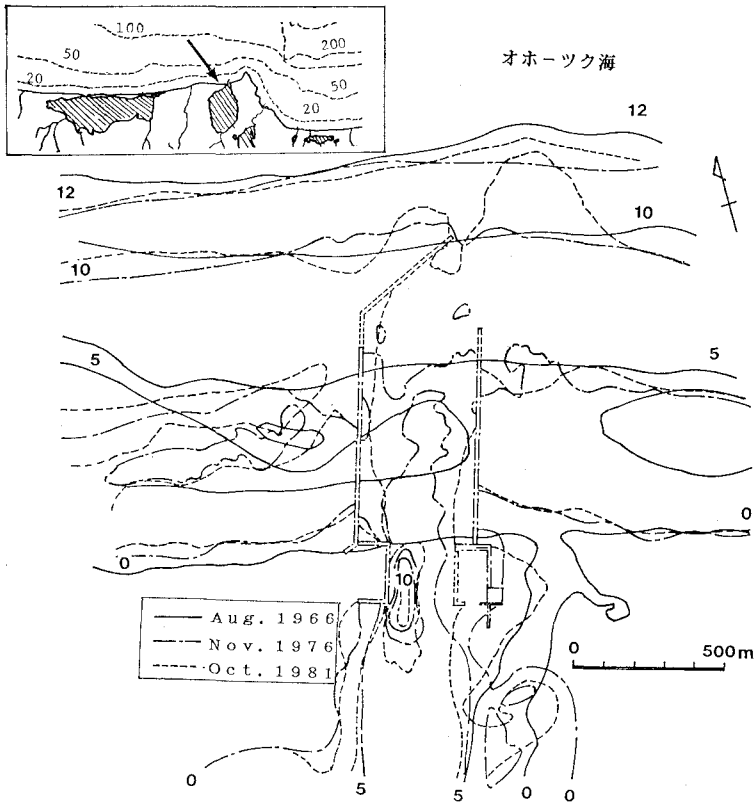


図-6 能取湖口水路周辺の深浅変化 (Kondo, et al., 1988)

の沿岸では約 100 000 ($\text{m}^3/\text{年}$)とされているが、図-6 のように防波堤で遮へいされていることから現状で 50 000

m^3 とする。そして $\bar{\eta}_s$ の値によって直線的に減少させることとした。

以上の条件について、図-3 の手順に従い安定流積 A_e を計算した。その結果を図-7 に示す。前節で述べたように A_e は Q_m に強く依存し、かつ Q_m はほぼ S に比例するので、 A_e は S の増加傾向に近似している。

この水路の場合は海面上昇値が 0.5 m 迄は、流積の増加は、ほぼ水位上昇分程度である (図中の A_i は現状の流積に水位上昇による増加分を加えた流積を意味する)。しかし $\bar{\eta}_s$ が 1 m 以上になると A_e は A_i を上回り、その結果として洗掘が生ずる。 $\bar{\eta}_s=1.5, 2.0$ (m) では洗掘深さは、それぞれ 0.6, 1.0 (m) となる。

6. む す び

平均海面の上昇に伴う漂砂海岸の感潮狭口流積の予測に関する手法とそれから得られる傾向について考察した。

その結果、1) 流積の推定式として (3) 式を導びき、2) それを基にして海面上昇によって表面積が急増するような緩勾配の河岸を有する小さい湾では流積が著しく増加し、洗掘することなどを示した。

推定法の精度は、ピーク潮流流量や沿岸漂砂量の推定

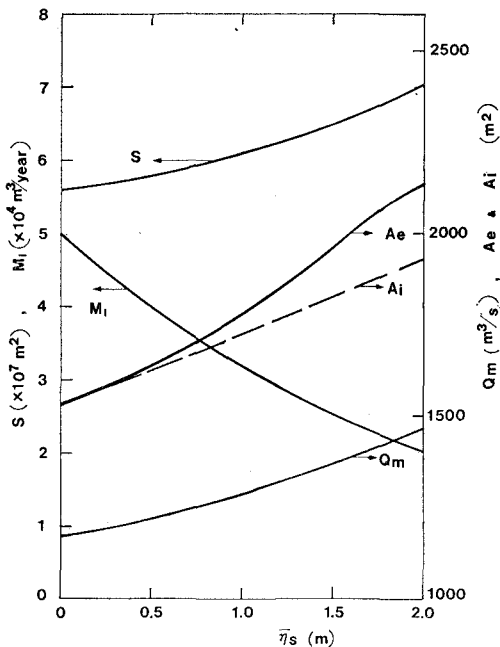


図-7 能取湖口水路の海面上昇による流積変化予測結果

の精度に依存する。今後は導流堤や砂州による漂砂の捕捉量などについて検討し、流積予測法を確立すると共に湾水位の推定についても研究する所存である。

本研究に際して、資料の提供や討議などにご協力を惜しまなかった佐藤 功氏（前北海道開発局網走開発建設部網走港湾建設事務所長）に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 近藤俊郎 (1972): 感潮狭口水路の流速, 内水域潮位および最大流速水深の一解法, 土木学会論文集, 206, pp. 49~57.
近藤俊郎 (1974): 感潮狭口の最大流速水深と最小流積, 第21回海岸工学講演会論文集, pp. 367~371.
近藤俊郎 (1979): 感潮狭水路の水理, 1979年度水工学シリーズ, B-7, 17 p.
近藤俊郎・佐藤 功・田中義一 (1968): 能取湖の湖口閉塞調査, 北海道開発局土木試験所報告, 46, pp. 45~59.

- 土屋義人・安田孝志 (1978): 海浜変形の簡単なモデル, 第25回海岸工学講演会論文集, pp. 189~193.
Bruun, Per (1983): Review of conditions for use of Bruun Rule for erosion, Coastal Engineering, Vol. 7, pp. 117~133.
Dean, R. G. (1987): Additional sediment input to the near shore region, Shore & Beach, Jul.-Oct., 1987.
Everts, C. H. (1985): Sea level rise effects on shoreline position, Proc. ASCE, Vol. 111, WW 6, pp. 985~999.
Kondo, H., N. Nitta and S. Tōma (1988): Tidal entrances in the Okhotsk coast, Japan, Proc. 9th Int. Symp. on Ice, IAHR, 2, pp. 103~111.
Mayor-Mora (1973): Hydraulics of tidal inlets on sandy coast, HEL 24-16, Hydraulic Lab. Univ. of California, Berkeley, 241 p.
Prantle, D. (1989): The impact of mean sea level change on estuary dynamics, Proc. XXIII Congress, IAHR, Session-C, pp. 7~14.