

# 日本海に面した河川感潮域における水位変動特性

東北大学工学部 学生会員 築田 栄輝  
 東北大学大学院 学生会員 Nguyen Xuan Tinh  
 東北大学大学院 フェロー 田中 仁  
 東北大学大学院 正会員 梅田 信

## 1. はじめに

日本海に面した海域では冬季に波浪が頻発する．そのため、日本海に面した河口では、碎波に伴う wave set-up の発生が太平洋側よりも顕著になる．実際、日本海に面した河口感潮域において、冬季の波浪に着目した wave set-up 高さの定量評価などが行われている<sup>1)</sup>．結果として冬季の波浪が、日本海に面した河口部の入退潮量を増加させ、河口感潮域の塩分環境に影響を与えていると考えられる．しかしながら、冬季の波浪による wave set-up が河口部における入退潮量を増加させる時空間的メカニズムは十分に解明されておらず、そのメカニズムが生物環境を支配する要因の1つになっているとの認識もされていない．

そこで本研究では、日本海に面する河口における冬季の wave set-up 高さを定量評価し、数値シミュレーションにより wave set-up に起因する入退潮量を算定する．

## 2. 研究対象

研究対象は、日本海に面する青森県岩木川である(図-1)．岩木川は十三湖を経由して日本海に注ぐ、流域面積 2,540km<sup>2</sup>、幹川流路延長 102km を有する一級河川である．面積 18.06km<sup>2</sup> を有する十三湖は感潮域であり、水戸口と呼ばれる十三湖湖口には二本の導流堤が建設されている．

河口水位は、十三湖内に位置する十三水位観測所の実測値を用い、実測潮位と波高は岩木川河口から最も近い深浦港におけるデータを用いた．また、河川流量は五所川原観測所のデータを使用した．データはすべて 2003 年のものを使用し、河口水位と潮位の差として表される wave set-up を洪水起源のものと同様に分類した．その結果、河川流量の影響を受けておらず、波浪の影響のみを受けていると考えられる水位上昇を wave set-up によるものと判断した．なお、波浪が小さい時期にも河口水位と潮位の間に一定の差が認められたため、波浪が小さい時期には両者が同じ値を示すものとして補正を行っている．

## 3. 河口部での水位変動特性

図-2 は 2003 年 1 月下旬から 2 月上旬にかけて観測された各データを示したものである．上段から順に、岩木川での河口内水位  $\eta_R$  と深浦港での実測潮位  $\eta_O$ 、水位上昇量 (両者の差,  $\Delta\eta = \eta_R - \eta_O$ )、深浦港での波高  $H_0$ 、河川流量  $Q_R$  の変化を表している．破線で示した 1 月 28 日から 2 月 2 日までの 6 日間をしてみると、 $\Delta\eta$  と  $H_0$  がほぼ同じような波形で増減していることが分かる．一方で、河川流量はほぼ一定であり、この水位上昇は洪水によるものではなく、波浪によるものであると結

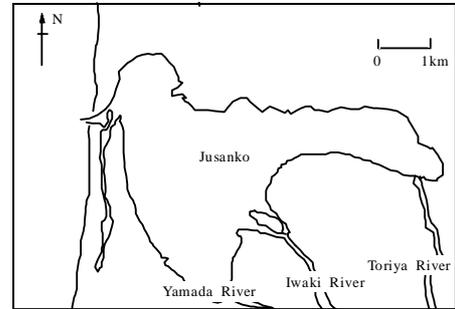


図-1 岩木川河口部

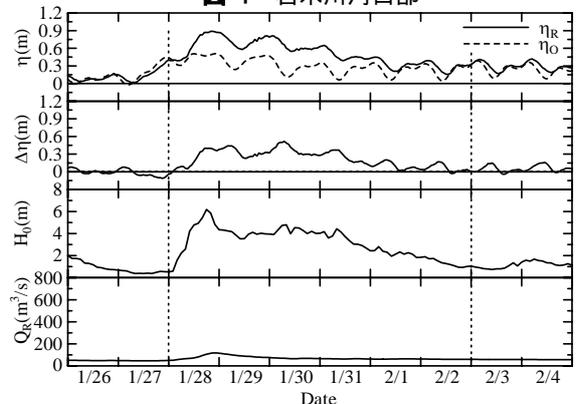


図-2 河口内水位、潮位、波高、流量の変化

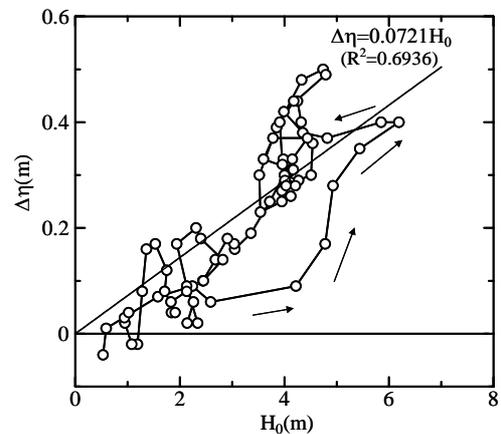


図-3 水位上昇量と波高の関係

論づけられる．

図-3 はこの期間、同時刻における水位上昇量と、波高の関係を示したものである．図中の矢印は時間の流れを表している．このとき、前半においては反時計回りにループが描かれていることが分かる．これは、急激な波高の増加に対して、水位上昇が起こるまでにある程度の時間差が存在することを意味している．一方、後半においては、ほぼ線形関係が認められ、結果として波高の 7.21% が水位上昇に相当している．

キーワード wave set-up tidal inlet 数値シミュレーション

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 Tel & Fax 022-795-7453

#### 4. 数値シミュレーション

河口水位を再現するモデルとして、Keulegan<sup>2)</sup>により示された tidal inlet の水理モデルを使用した。基礎式は、式(1)の運動の式、式(2)の連続の式で示される。

$$\eta_O - \eta_R = (K_{en} + K_{ex} + \frac{2gn^2L}{R^{4/3}}) \frac{|U|U}{2g} \quad (1)$$

$$A_R \frac{d\eta_R}{dt} = UA_C + Q_R \quad (2)$$

ここに、 $K_{en}$ ：入り口損失係数(=0.3)、 $K_{ex}$ ：出口損失係数(=1.0)、 $n$ ：Manning の粗度係数(=0.035)、 $L$ ：河口部狭水路路長(=620m)、 $R$ ：径深、 $U$ ：河口部流速(沖側から河口内部へ方向を正とする)、 $A_R$ ：感潮面積(=18,060,000m<sup>2</sup>)、 $A_C$ ：河口面積、 $B$ ：水路幅(=187m)、 $h$ ：河口水深(=3.35m)である。ここでは、河口断面形状を矩形であると仮定した。

計算1では、波浪条件を考慮して計算した。すなわち、式(1)、(2)から  $U$  を消去し、wave set-up を考慮した沖側潮位、

$$\eta_O = \eta_{Omeas} + aH_0 \quad (3)$$

を代入することによって河口水位を得た。さらに、得られた河口水位とは別にそのときの実測水位が分かっているので、この計算値と実測値の誤差を考える。誤差は以下の式(4)で表される。

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\eta_{R(cal)} - \eta_{R(meas)})^2}{N}} \quad (4)$$

式(4)を用いて求めた誤差  $\varepsilon$  が最小となる  $a$  の値における河口水位を最終的な推定値  $\eta_{Rcal1}$  とする。

一方、計算2では、波浪条件を無視して計算した。すなわち、実測潮位をそのまま代入することによって河口水位  $\eta_{Rcal2}$  を求めた。

図-4に河口水位の計算結果を示す。計算1について、誤差を最小にする  $a$  は 0.070 となり、実測値から求められた 0.0721 に比較的近い値となった。このとき、1月28日から29日にかけて位相に実測値との時間的ずれが確認できる。また、水位上昇量が減少する1月31日から2月2日の期間では、過大評価している。しかしながら、全体としては良好な計算結果を与えている。一方、計算2については実測潮位とほぼ同じ値となった。これは、すなわち理想的に wave set-up が全く発生していないと仮定した場合、その河口水位は実測潮位にほぼ等しくなることを意味している。

図-5には、計算1、計算2による河口水位  $\eta_{Rcal1}$ 、 $\eta_{Rcal2}$  から、式(2)を用いて求めた入退潮量  $UA_{Ccal1}$ 、 $UA_{Ccal2}$  と、その差  $\Delta(UA_C) = UA_{Ccal1} - UA_{Ccal2}$ 、河川流量を示す。これより、波高の上昇が急激であった1月28日には入退潮量の差が大きく、逆に、波高変化が滑らかであった1月31日以降は差がほとんどなかったことが分かる。そこで、図-6には波高の変化率と入退潮量の差の関係を示した。多少のばらつきはあるものの、線形関係が認められ、傾きが  $9.81 \times 10^5 \text{ m}^2$  となっている。これは、式(2)において、波浪条件を考慮したものと、無視したものの差をとると、wave set-up 高さ  $\Delta\eta (=aH_0)$  を考慮して、 $\Delta(UA_C) = A_R \times a \times dH_0/dt$  と表されることを裏づけている。実際に  $A_R \times a = 1.26 \times 10^6 \text{ m}^2$  となるため、図-6の結果は比較的良好的な結果であることが分かる。

#### 5. おわりに

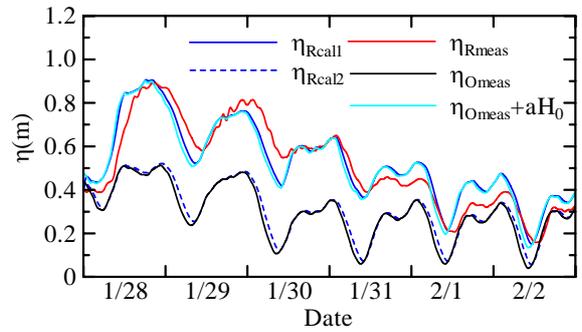


図-4 計算値と実測値の比較

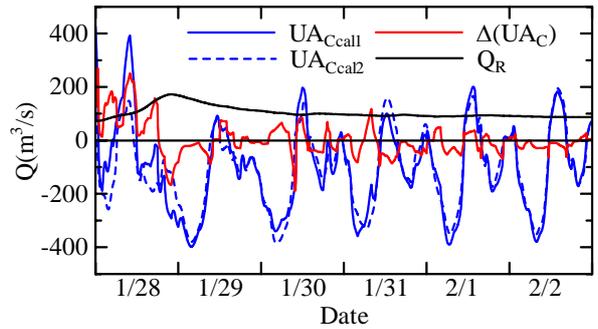


図-5 入退潮量の計算値

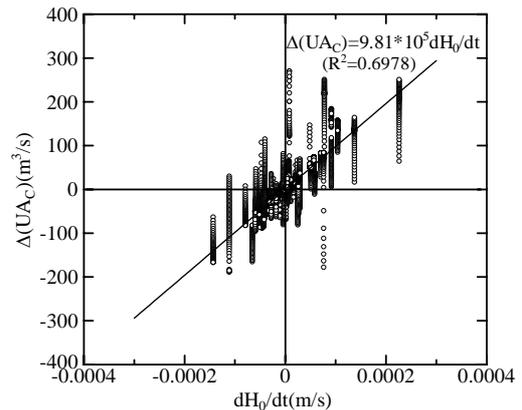


図-6 波高変化率と入退潮量差の関係

岩木川河口において、wave set-up 高さを定量評価し、数値シミュレーションにより、波浪条件があるとき、ないときの両条件下で河口水位を計算した。これにより求められた入退潮量の差は波高変化率とほぼ線形関係をなし、その傾きは感潮面積と wave set-up 高さの積にほぼ等しくなることを示した。今後は、他の河川においても解析し、妥当性の検討を行う必要がある。

#### 謝辞

本研究を行うに当たり、国土交通省東北地方整備局青森河川国道事務所から貴重な現地データの提供を受けた。さらに、本研究に対して日本学術振興会科学研究費(基礎研究(B), No.17360230)の補助を受けた。

ここに記して、関係機関に対し深甚なる謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) Nguyen Xuan Tinh・田中 仁・梅田 信・佐々木幹夫：日本海に面した河口感潮域における冬季の wave set-up 高さ、海岸工学論文集、第 55 巻、pp.366-370, 2008.
- 2) Keulegan, G.H.: Tidal Flow in Entrances, U. S. Army Corps of Engineers, Committee on Tidal Hydraulics, Technical Bulletin, No.14, 102p, 1967.