

岩木川河口の水利観測と不定流解析

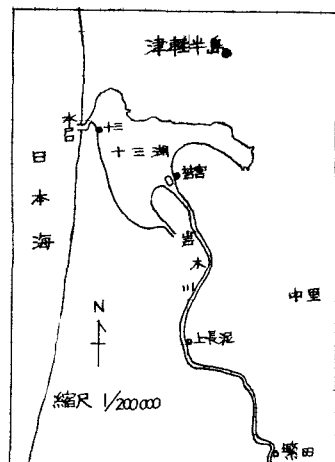
東北大学工学部 正員 岩崎 敏夫
東北大学工学部 学生員 ○ 三 王 英 寿
東北大学工学部 学生員 樋口 淳美

1. 序

津軽平野を流れる岩木川は、河口部に十三湖と呼ばれる感潮湖を有し、下流端の水戸口を通じて日本海に連なっている。この河口湖は、約 17 km^2 の水域面積を持ち、岩木川河口の水利に複雑な影響を与えていることが考えられるのであるが、現在干拓計画が推進されており、これに対して検討することが要請されている。このためには、第一に現在の自然状態について知り、次に人工を加えることによって生じる変化について比較検討することが必要である。

東北大学水利研究室では、建設省東北地方建設局青森工事事務所の委託により、昨年夏期に第一回の現地観測を行い、更に岩木川下流部の不定流解析を実施中である。ここにその概要を報告するが、今回の問題点としては、河口湖の断面変化に伴う、①岩木川下流部の水面変化、②河口維持と密接な関連のある、水戸口の流況変化の二点に重点をおいて検討する。

図-1 岩木川河口付近



2. 現地観測

現況河口湖による水利特性を知るための一助とし、更に流況解析を行うに際して各種条件の考え方の基礎を得ることを目的として、昭和42年8月18日から23日にかけて、十三湖において水利観測を行った。観測内容は次の二項である。①河口湖内の流況：河口湖内の流れの傾向を知る目的で、6観測点を設け、各点に小船をけい留して、約20時間にわたり30分ないし1時間間隔で、流向、流速、水位変動の同時観測を行った。②水戸口の流況：水戸口を通じて出入する流れについて、その機構と具体的数値を知る目的で、水戸口上流部に架けられた木橋を利用して14の観測点を設け、約30時間にわたって、流速、水深の同時観測を行った。

一観測結果の概要一

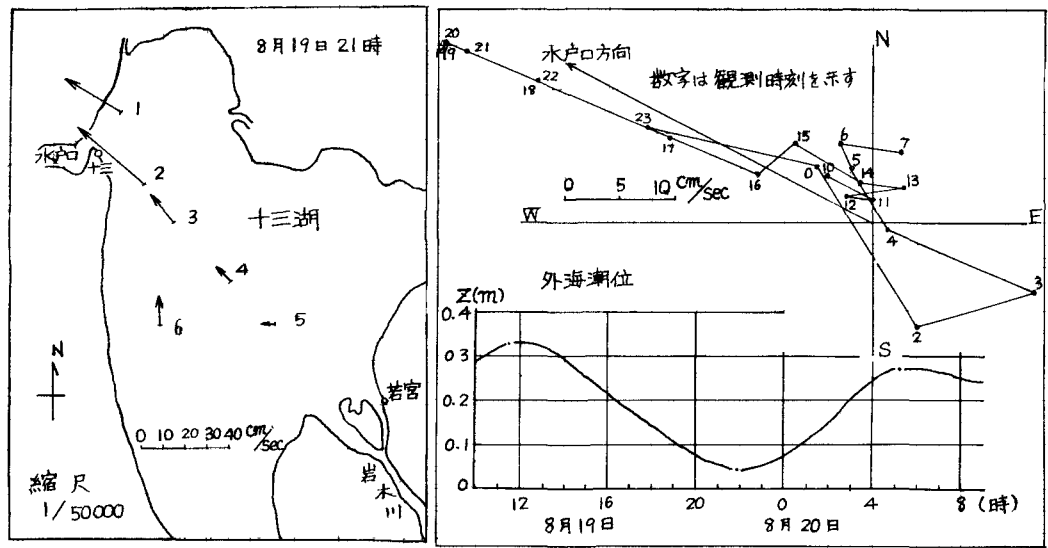
河口湖内の流れは周期的に順流、憩流、逆流の変化をしていることが観測された。この現象は、位相が遅れて、外海潮汐に対応している。図-2は順流盛時の流況の一例を示したものであり、図-3には観測点2における流向流速の時間的推移を示した。図-3の傾向は他の観測点においても類似しており、下げ潮時には水戸口に向う流れが卓越し、上げ潮時には湖奥に向う傾向がある。ただし、観測点1のみは特徴があり、この付近では環状流の可能性がある。

水戸口の流れに対しても潮汐の影響が大きく、上げ潮盛時には $200 \text{ m}^3/\text{sec}$ の規模の逆流が観測されて

いる。更に水戸口付近の流れの機構に関して、茨塩水密度流の影響で流速分布型が複雑であること、茨塩水の境界と考えられる上流側濁水、下流側濁水の潮目が、潮汐の周期に従って、水戸口を通じて出入する現象などがみられた。

図-2 十三湖内流況例

図-3 流向流速変化図 (観測点2の例)



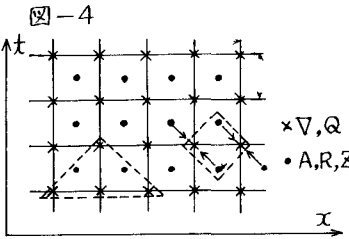
今回の観測期間は岩木川低水時にあたり、その個有流量は小さく $15 \frac{m^3}{sec} \sim 40 \frac{m^3}{sec}$ であった。従って、河口水利に対して外海潮汐の影響が比較的大きい時期であり、観測結果に共通して、潮汐との密接な相関が認められる。観測された諸現象は既往の感潮河川に関する研究結果と共通するものが多いが、岩木川河口の場合は河口湖の調節機能によって、外海潮汐の振幅が小さくもかわらず、河川潮が顕著になっていることが考えられる。これは、例えば河口維持に対して大きな効果を与える現象であり、河口部の流れの解析において河口湖の影響を量的に検討することが重要であろう。

3. 不定流解析

1で述べた目的に対し、河口湖部の断面を変化させ、上下流端に種々の境界値を与えて不定流計算を行った。計算範囲は水戸口～繁田間、延長 20.2 Kmである。

一計算方法について—

開水路不定流の運動方程式: $\frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{v^2}{2g} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{n^2 v |v|}{R^{4/3}} = 0$
 および連続方程式: $\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = g$ (Z: 水位、v: 平均流速、g: 重力加速度、n: 粗度係数、R: 径深、A: 流水断面積、Q: 流量、g: 横流出入量) の両基本式を差分方程式になおし、電子計算機によって数値計算を行う。計算格子の構成と、計算手順についての概略を図-4に示す。このような計算方法は既に実用の段階にあるが、応用上的確な解を得るためには種々の問題が生じる。ここでは、差分法による数値計算上の基礎的問題である計算安定、収束性に対する格子間隔の妥当性、および下流端境界条件、の二点



について考察する。

解の収束性に関しては、双曲型偏微分方程式の特性曲線の理論を使って、理論上の基準は提唱されている。即ち、図-5のAB上の条件によって解を求める場合、格子間隔の比が $\Delta x/\Delta t < C$ (C : 特性曲線の勾配) のときはABの決定領域PABの外側で解を求めることになり一般に収束せず、逆に、 $\Delta x/\Delta t > C$ のときにはAB上の任意の区間 A_1B_1 の影響範囲外で解を求める可能性があって収束性が劣る。従って、AB上の条件を完全に満たす解を得るためには $\Delta x/\Delta t = C$ であることが必要である。ここで C は具体的には水理変動の伝播速度であって、 $\Delta x/\Delta t = v \pm \sqrt{gh}$ となるが、実際には、流速 v 、水深 h は場所的・時間的に変るため、計算系内において $\Delta x/\Delta t = (v \pm \sqrt{gh})_{\max}$ をとることが基準となる。河川の計算区間が長い場合は特に、計算機の容量、演算時間等の関係もあり、実用上 Δx の大きさは大略きまり、 Δt に選択の余地が大きい。

このような問題に対して試算した結果を下に示す。計算例は上述岩木川下流のモデルで、河口湖部の水深を変えて比較した。図-6、図-7より、上記基準の境界付近にある $\Delta t = 240 \text{ sec}$ 、 $\Delta t = 300 \text{ sec}$ が両場合に対して微妙に反応しているのがわかる。この結果から、 $\Delta x/\Delta t > (v \pm \sqrt{gh})_{\max}$ の条件を満た

図-5

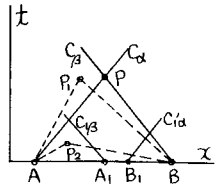


図-6 ($H = 1.5 \text{ m}$)

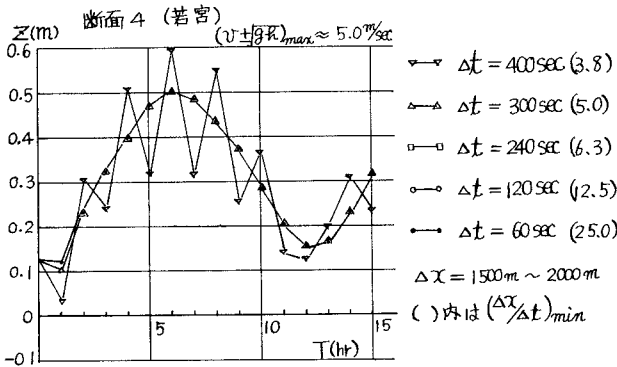
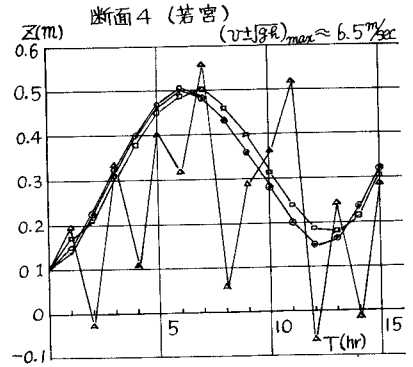


図-7 ($H = 3.0 \text{ m}$)

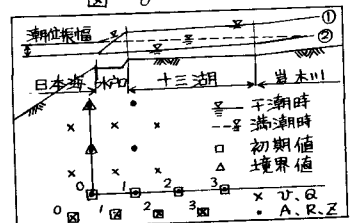


足すれば、実用上十分な近似解が得られることが認められる。なお、偏微分方程式の境界値問題の観点からは増分 Δx 、 Δt を小さくするのが有利であるが、数値計算上まるめ誤差の影響で解が発散する現象が生じる場合があり、格子の細密化には限界がある。この問題に対する考察は今後の課題とし、今回は上記の試算で収束性のみられた範囲の格子間隔によって演算する。

次に境界条件について、今回は下流端付近の流況を知ることが主要目的の一つであり、特に、断面変化が著しく、更に外海潮汐と河川流の相互作用を受ける下流端における境界条件を自然状態に近い形で与えることが望まれる。

既往の水位観測資料から、水戸口付近の流況の型は次の三種に分類できることがわかった。①河口湖水位が外海潮位よりも常に高く、潮汐は内水位にほとんど影響しない場合(洪水時)。②内外水位が潮汐に伴って周期的に変動し、上げ潮位時には外水位が内水位よりも高まり逆流が生じる場合(低水時、今回の観測例)。

図-8



③①、②の中間で、河口湖水位は潮汐によって変動するが内外水位の逆転は起らない場合。①の場合特に、水戸口で河川流出の水位に対する影響が強く、この部分に境界値として外海潮位を与えるのは不自然である。今回は水戸口の流速を検討する目的もあり、図-8に示すモデルを採用した。しかし、洪水時水戸口の支配断面的特性の細部検討を行うことにより改良の余地がある。

流速について、水戸口付近の断面が急変しているため、 $v(0)$ を外挿によって求めるのは不適当であり外海中で $v(0) \approx 0$ とした。水戸口流速に対して水道流速公式を適用し、 $v(1) = \pm C \sqrt{2g |Z(0) - Z(1)|}$ とする方法も試みている。これは適当な係数 C が得られれば、比較的 $\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t}$ の効果の小さい洪水時の考察に应用できるであろう。

一計算結果一

図-9 水戸口流速と河口湖断面の相関 (低水時)

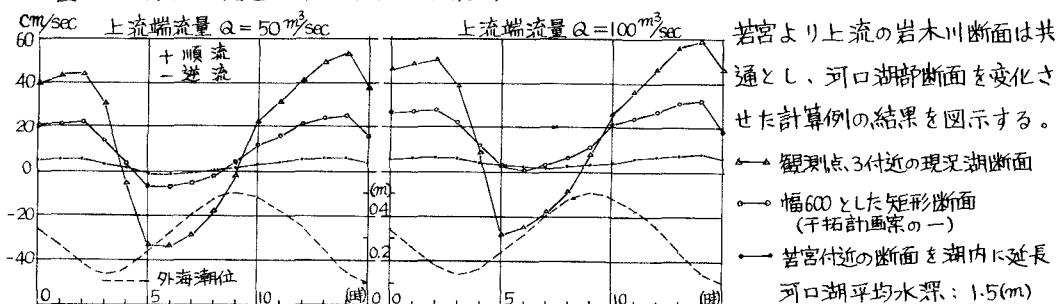


図-10 岩木川下流水面形 (洪水時)

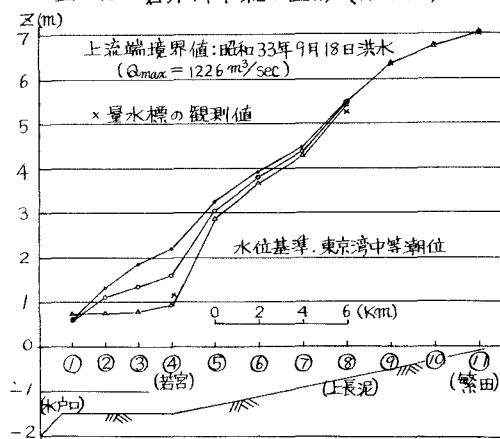


図-9より、河口湖断面が水戸口流況に対して影
影し、河口湖断面に対応して河川潮現象が顕著であ
ることが認められる。岩木川下流の水面形に対して
低水時には河口湖断面の影響は微小であるが、流量
の増加に伴って影響が顕著になる。図-10に洪水時
水面形の一例を示すが、河口湖断面の縮小に伴って
水位が上昇し河川部にも影響していることが認めら
れる。同一洪水時の観測値をx印で示したが、現況
湖断面の計算値にほぼ近似している。

最後に、この調査にあたって建設省東北地方建設局青森工事事務所斎藤備所長の御好意をいただき、さらに同工事事務所益子雅行調査課長をはじめ調査課の皆様の御援助を得た。また、数値解析に際しては運輸省港湾技術研究所工藤和男計算室長、高井俊郎技官の御指導を得た。また、昭和42年度文部省科学研究費特定研究「東北地方における水文学の総合的研究」に研究費の一部の援助をうけた。各位に対して厚く感謝の意を表する。

参考文献 (1) 岩崎敏夫、高井俊郎: 自然河川河口部における洪水波と潮汐波との重合に関する研究 (昭和41年度 東北支部技術研究発表会講演概要)