

長波の河川遡上に関する研究

豊橋技術科学大学建設工学課程 学生会員 ○山本 真
豊橋技術科学大学建築・都市システム学系 正会員 青木伸一

1. はじめに

2009 年 10 月に愛知県知多半島から上陸した台風 18 号は、本州中央を北東に縦断し、各地に甚大な被害をもたらした。8 日午前 6 時頃には河口で T.P+3.16m、最大潮位偏差 2.6m の高潮を観測し、その影響は三河湾へ流入する河川にも伝搬し、梅田川水位観測点(河口 4.5km)では最大水位 T.P+3.75m を観測した。この時の河川流による水位のピークは 7 日 22 時に観測した T.P+3.49m であり、高潮と洪水流のピーク水位に時差が生じていた。洪水流と高潮のピーク水位が重畳していればさらなる水位の上昇が予想された。

一方、2011 年 9 月に上陸した台風 15 号でも湾内の潮位偏差が 1m にも及び、降雨による出水の増大により高潮の遡上は制限されたが、両者が同時生起したことにより、さらに水位が上昇したことが考えられる。

また、2011 年 3 月 11 日三陸沖 130km 付近において発生した東北地方太平洋沖地震(M9.0)に伴い発生した津波は、宮城県内を流れる北上川を河口から 49km まで遡上した。これは北上川周辺の堤内地浸水域の最上流端までの距離は河口から 12km であることから、河道内の方がはるかに長い距離を遡上していることを示している。

今後の治水対策・河川管理において、河川流と高潮や潮汐、津波等に代表される河川を遡上する長周期波との関係性について検討することは重要である。

本研究では、これまでに行われた宇野木、神田らによる河川水面変動の計算法を参考に、流量・周期との関係性を明らかにすることを目的とする。

2. 解析解による水面上昇量計算

図 1 に本研究で取り扱う一次元の河道モデルを示す。計算方法については神田(1986)¹⁾の解析解を用い、河川下流端において長周期の水位変動を与えた。本来、河道内への海水の侵入があるが、本研究では密度流や風による影響は考慮に入れていない。水路は一樣な広幅長方形断面とし、河道流れを一次元流れの等流として扱えば、基礎方程式と河口における水深の境界条件式は次式で与えることができる。

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} + i + \frac{n^2 |v|}{h^{4/3}} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(vh)}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$$h(0, t) = \frac{A_0}{2} \left\{ 1 - \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right) \right\} + h_0 \quad (3)$$

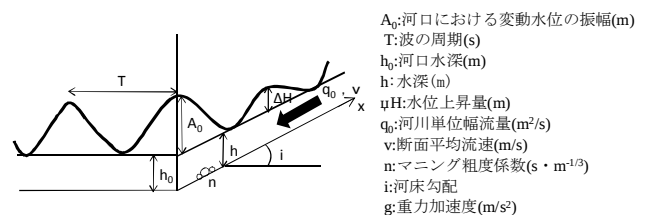


図 1 河道モデル

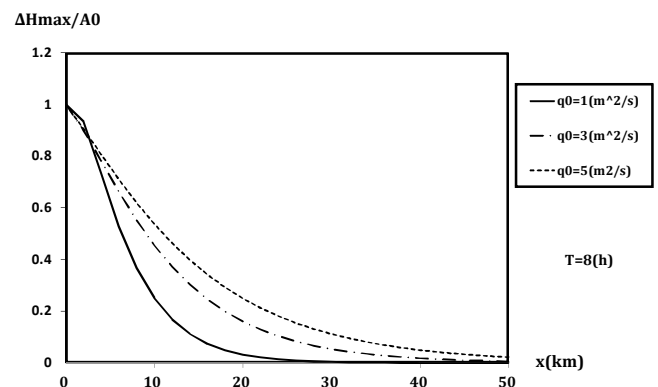


図 2 河川流量に対する最大水面上昇量（解析解）

一例として、河床勾配 $i=1/10000$ 、粗度係数 $n=0.025$ の河道において、長波の周期を $T=8(h)$ と固定し、単位幅流量を $q_0=1(\text{m}^2/\text{s})$ 、 $q_0=3(\text{m}^2/\text{s})$ 、 $q_0=5(\text{m}^2/\text{s})$ と変化させた時の最大水面上昇量を図 2 に示した。多くの文献、既往の研究から、河川流量の増大に伴い水面上昇は減衰し、遡上は制限されることが知られている。しかし、本研究で用いた解析解ではそうはならなかった。そこで以下に、差分法による水面上昇量の検討を行った。

3. 差分法による水面上昇量計算

本章で行う数値計算は宇野木(1986)²⁾によるものである。河口を基準面とし、 x 軸を上流に向かってとると、基礎方程式は式(1)、(2)と同様に与えることができ

る。格子間隔を μx 、時間間隔を μt とおき、計算安定の条件を考慮して $\mu x=1000\text{m}$ 、 $\mu t=100\text{s}$ とした。

式(1)の第2項、第5項については中央差分を、第1項、第3項については前進差分を用い、式(2)については前進差分を用いて差分方程式への変換を行う。時刻 t の v と $t+\mu t/2$ の D 、 A から式(4),(6)を用いて $t+\mu t$ の v 、 q が求まる。この $t+\mu t$ の q と $t+\mu t/2$ の D から、 $t+3\mu t/2$ の D が式(7)から求めることができ、次のように表わすことができる。

$$v_i(t+\Delta t) = \left(\frac{2}{E_i} - 1 \right) v_i(t) - \frac{g\Delta t}{\Delta x E_i} \left\{ D_i(t + \frac{\Delta t}{2}) - D_{i-1}(t + \frac{\Delta t}{2}) \right\} \quad (4)$$

$$E_i = 1 + \frac{\Delta t \cdot K_i}{2} = 1 + \frac{\Delta t}{4\Delta x} (v_{i+1} - v_{i-1}) + 2^{1/3} g n^2 \Delta t \cdot \frac{|v_i|}{(h_i + h_{i-1})^{4/3}} \quad (5)$$

$$q_i(t+\Delta t) = \frac{1}{2} \left\{ A_i(t + \frac{\Delta t}{2}) - A_{i-1}(t + \frac{\Delta t}{2}) \right\} \cdot v_i(t+\Delta t) \quad (6)$$

$$D_i(t + \frac{3}{2}\Delta t) = D_i(t + \frac{\Delta t}{2}) - \frac{\Delta t}{\Delta x} \cdot \{ q_{i+1}(t+\Delta t) - q_i(t+\Delta t) \} \quad (7)$$

解析解と同様に、初期条件を等流状態とし、解析解と同様の河川諸元における最大水面上昇量を図3に示す。解析解同様に、流量が少ないほど遡上に伴う減衰が大きくなった。そこで次に不等流計算を行った。

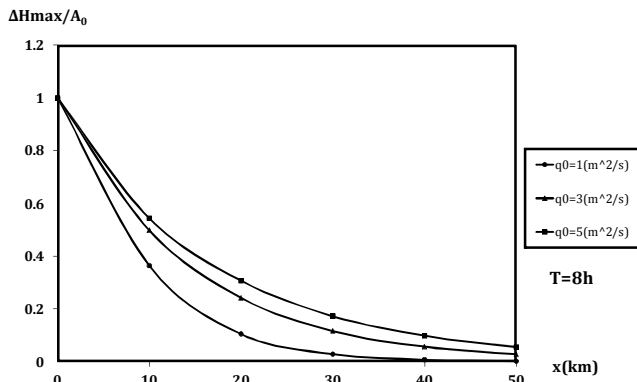


図3 河川流量に対する最大水面上昇量（差分等流）

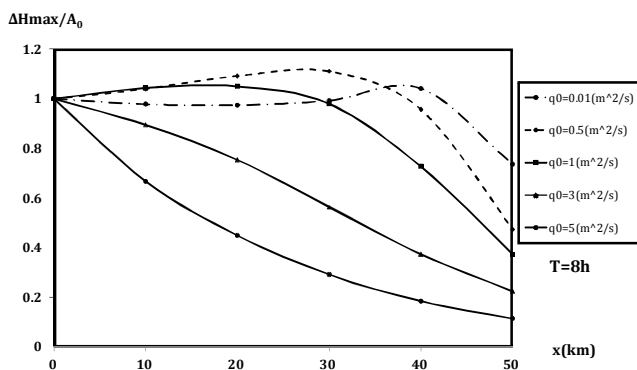


図4 河川流量に対する最大水面上昇量（差分不等流）

図4に不等流水面による最大水面上昇量を示す。 $q_0=5\text{m}^2/\text{s}$ の最高水深より、等流状態とは逆に流量の増大により減衰が大きくなる。これより、洪水等により流量が増加した際、長波により遡上は制限されることがわかった。また、 $q_0 \rightarrow 0$ に近づけば遡上は上流方向に沿って高まり、 $q_0=5\text{m}^2/\text{s}$ の時より、河口から30kmで最大1.1倍程度に増幅することがわかった。しかし、 $q_0=0.01\text{m}^2/\text{s}$ の最高水深は、 $q_0=0.5\text{m}^2/\text{s}$ 時よりも低い。これは単に流量の減少により水面上昇量は増加せず、水面を最も上昇させる流量の存在を意味している。

4. 梅田川における遡上計算の再現

図5に河口から4.5km地点の梅田川の水深変化の実測値と計算値を示す。格子間隔 $\mu x=750\text{m}$ 、時間間隔 $\mu t=60\text{s}$ 、一様河川幅 $B=98.25\text{m}$ 、一様勾配 $i=1/1140$ 、流量 $Q=187\text{m}^3/\text{s}$ とした。河口水深を河口よりも湾奥で観測したため梅田川観測地点の水面変動が再現できなかった。しかし、湾奥でも観測できた高潮による顕著な水面変化は再現することができた。本研究では梅田川を平均勾配、平均河川幅に置き換え計算したため、今後より詳細な河川諸元に基づき再現を行えばさらに実測値に近づいた再現が可能である。

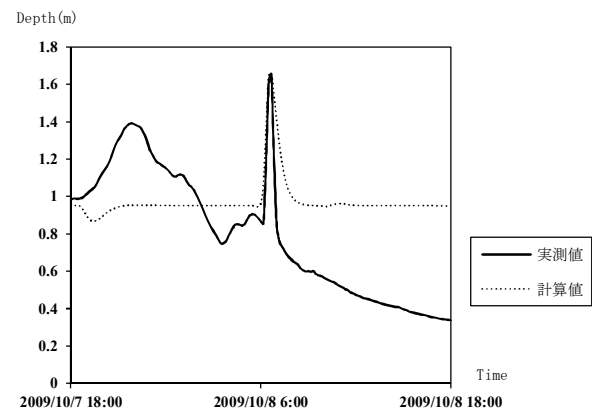


図5 2009年台風18号における梅田川水深変化の再現

5. おわりに

本研究では長周期波の遡上と河川流の関係を確認することができた。今後より詳細な河川諸元に基づいた数値計算を行う必要がある。

参考文献

- 1) 神田徹・浜村吉昭(1986)：長周期波の河川遡上に関する基礎的考察，第369号土木学会論文集
- 2) 宇野木早苗(1968)：河川潮汐の研究(第1報)，第15回海岸工学講演会講演集