

II-166

河口水位変動の影響を受ける感潮部の最高水位

神戸大学工学部 正員 神田 徹
 神戸市 正員 浜村 吉昭
 神戸大学大学院 学生員 ○村岡めぐみ

1. はじめに 河口水位が数時間のオーダーの周期で昇降する場合の河道各地点の水位変動に関して第3次近似の摂動解を求め、その解をもとに河道に沿う最高水位およびその伝播速度が、河川流量、河川勾配、河口水位変動の周期・波高といかなる関係があるかを調べた。

2. 基礎方程式とその近似解 図-1のような河川感潮部の流れを考え、基礎方程式および境界条件を無次元量で表わせば、

$$\frac{\partial v'}{\partial t'} + v' \frac{\partial v'}{\partial x'} + \frac{\partial h'}{\partial x'} + 1 + \ln \frac{v' |v'|}{h'^{4/3}} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial h'}{\partial t'} + \frac{\partial (h' v')}{\partial x'} = 0 \quad (2)$$

$$h'(0, t') = \frac{A_0'}{2} (1 - \cos \gamma t') \quad (3)$$

$$h'(\infty, t') = 1, \quad q'(\infty, t') = -q_0'$$

ここに、 $t' = t/T_0$, $x' = x/L$, $h' = h/h_0$, $v' = v/\sqrt{gh_0}$
 $\ln = gn^2/(h_0^{1/3})$, $A_0' = A_0/h_0$, $T' = T/T_0$, $T_0 = 1/\sqrt{gh_0}$
 $\gamma = 2\pi/T'$, $q' = q/(h_0\sqrt{gh_0})$, $q_0' = q_0/(h_0\sqrt{gh_0})$

式(1)において慣性項を省略した式と式(2)から、河道各地点の水位変動 $\Delta H' \equiv (h - h_0)/h_0$ は、 A_0' , T' , $\ln$ をパラメータとして次のように得られる。

$$\frac{\Delta H'}{A_0'} = \frac{\Delta H}{A_0} = \frac{1}{2} y_1 + \frac{A_0'}{4} y_2 + \frac{A_0'^2}{8} y_3 \quad (4)$$

図-2に各近似項の時間変化を示す。第2次近似項 y_2 、第3次近似項 y_3 はそれぞれ、倍周波数、3倍周波数の波を含み、第1次近似項 y_1 の波に比べて波速が大きい。このため、それらの合成波である $\Delta H'$ の波形は河川遡上とともに前面が急になり、後面が緩やかになる。

3. 河道に沿う最高水位 式(4)の各近似項の位相のずれを無視すれば、河道に沿う最高水位が次のように得られる。

$$\frac{\Delta H'_{\max}}{A_0'} = \frac{\Delta H_{\max}}{A_0} = \frac{1}{2} y_{1,\max} + \frac{A_0'}{4} y_{2,\max} + \frac{A_0'^2}{8} y_{3,\max} \quad (5)$$

$$y_{1,\max} = \exp\left(-\frac{10}{3} x'\right) + \exp\left[-\left(\frac{5}{3} + p_1\right) x'\right] \quad (6)$$

$y_{2,\max}$, $y_{3,\max}$ は省略。

最高水位 $\Delta H'_{\max}/A_0'$ に及ぼす各パラメータの影響を図-3に示す。図(a)のように、 A_0' が大きいほど最高水位が大きくなるのは、式(5)

において $y_{i,\max}$ ($i=1, 2, 3$) が A_0' に関係しないためである。また、最高水位の減衰に関しては、河口付近では A_0' が大きいとき高次の項が影響するため水位の減衰は小さいが、河川遡上につれて $y_{1,\max}$ の減衰率に近づく。次に図(b)のように、 T' が大きいほど最高水位は高く、上流へ向かうにつれてほぼ一定の減衰率で水位は減衰する。特に T' を無限大にすれば定常不等流の水面形が得られ、最も高い水位となる。また、図(c)より、 $\ln$ が小さいほど最高水位は高く、上流へ向かうにつれてほぼ一定の減衰率で減衰する。 $\ln$ が大きいときは河口付近の $y_{1,\max}$ の減衰率は大きい、上流ほど減衰は弱くなり、 $\ln$ が小さいときの減衰率に近づく。

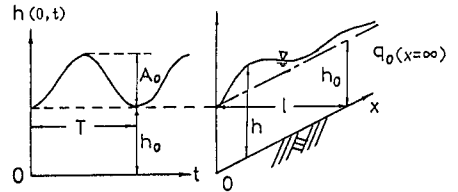


図-1 河道モデル

A_0 : 河口における波の振幅, T : 波の周期
 q_0 : 無限上流での単位幅流量, h_0 : q_0 に対する等流水深, $\Delta H = h - h_0$, $l = h_0/L$: 河床勾配

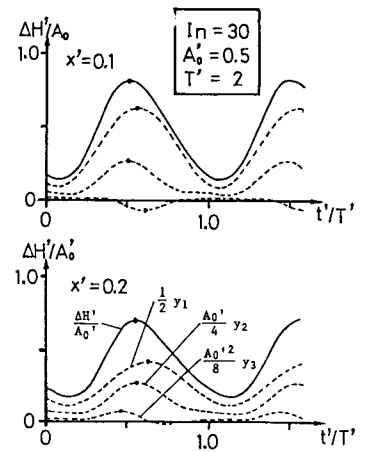


図-2 水位変動の時間変化

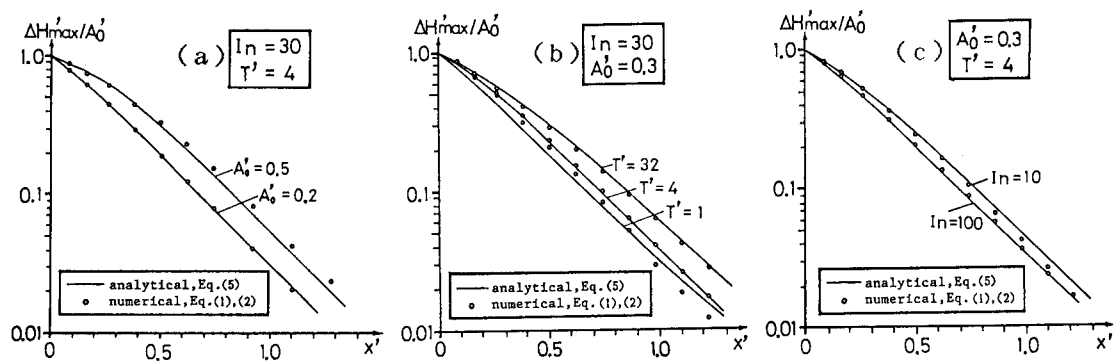


図-3 河道に沿う最高水位

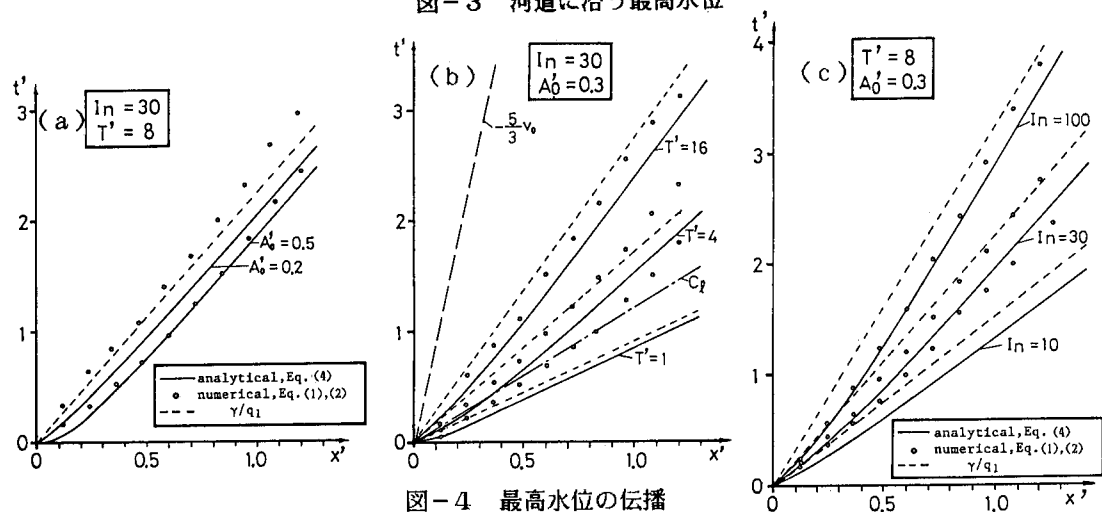


図-4 最高水位の伝播

4. 最高水位の伝播速度 伝播速度に及ぼす各パラメータの影響を図-4に示す。図(a)より、河口付近では A_0' が大きいほど最高水位の伝播速度は大きい、上流へ向かうにつれてほぼ一定の速度 γ/q_1 （第1次近似項の波速）で伝播することがわかる。これは、河口付近では A_0' が大きいほど高次の近似項の影響が強く、それらの項には波速の大きい高周波数の波が含まれているからである。次に、図(b)、(c)より、 T' 、 I_n が大きいほど伝播速度は大きくなる。図(a)の傾向と同様に、河口付近での伝播速度は大きい、河川遡上につれて波速 γ/q_1 に近づく。

いま、非常に長い周期の水位変動を考えれば、 $(\gamma/q_1) \approx (-5/3) \cdot v_0$ となる(図(b)の破線)。一方、等流水深に対する長波の波速は、 $c_g = 1 - (1/I_n)$ で与えられる(同図の一点鎖線)。 $T'=1$ 程度になると、数値計算結果はこの c_g に近づいていることがわかる。したがって、さらに周期が短くなれば、それは慣性項が支配的になる通常の長波の領域に入り、上述の解析解は適用できないことを示唆する。結局、本研究で対象とするような水位変動では、周期の長短に応じて長波の伝播速度と Kleitz-Seddon法則との中間の速度で最高水位は伝播する。このように、感潮部における最高水位の伝播の挙動には、通常の波動論で説明される長波の性質や kinematic wave理論による洪水波の性質とは異なった特性が存在するといえよう。

5. 結語 以上は無次元化した諸量についての関係であるが、次元をもつ量に戻せば各パラメータの影響は次のようである。河口水位変動の相対波高が大きく、周期が長く、河床勾配が緩やかで、流量が多いほど最高水位は高くなる。また、河口水位変動の相対波高が大きく、周期が短く、河床勾配が緩やかで、流量が多いほど伝播速度は大きい。

参考文献：神田・浜村・村岡：感潮河川の計画高水位に関する基礎的検討，第31回水理講演会論文集，1987。