

# 高潮と洪水の重畳災害に関する基礎的研究

武田 誠\*・平山 克也\*\*・井上 和也\*\*\*・戸田 圭一\*\*\*\*

## 1. はじめに

我が国では、近年、大きな高潮災害は発生していない。これは、大きな高潮の来襲がないことや高潮対策の効果によるものと考えられる。しかし、高潮が自然災害である以上、水位が設定された防潮堤の天端高を越える危険性は拭いきれない。また、1994年8月21日の中国温州で起こった氾濫災害にみられるように、高潮のみならず、高潮と洪水が重畳し、甚大な被害が発生することも考えられる。人口、資産、情報などの社会的機能が集中している現在の沿岸都市の状況を考えると、ひとたび氾濫が生ずれば、その被害は大規模になることが予想される。よって、まずなによりも氾濫を防ぐことが第一であるが、仮に氾濫が生じた場合のソフト的対策の構築もこれからの課題であるといえ、そのためにどのような災害の危険性があるのかを知ることが重要となる。

本研究では淀川と大阪湾を対象に、高潮と洪水の重畳現象を取り上げる。このようなテーマに関して、従来より様々な研究がなされている。それらのうち、高潮と洪水の同時生起の確率論的研究に着目すると、端野・神田(1985)は、大阪湾をほぼ中央に含んだ長方形領域(北緯 $28^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 、東経 $128^{\circ}\sim 140^{\circ}$ )を1900~1980年にかけて通過した台風約460個を取り上げて分析し、最大潮位偏差が大きいほど同時生起性が高くなる傾向がみられるとしている。また、端野(1984)はMarked point process理論と二変数指数分布により定式化された二変量年最大値のリターンピリオド $T_{xy}$ ( $x$ :ピーク降雨、 $y$ :最大潮位偏差)の推定法を提案し、7916台風の $T_{xy}$ のリターンピリオドは338年、ジェーン台風、室戸台風でのそれはそれぞれ240年、215年であるとしている。

高潮ピークと洪水ピークが河道内において重なる現象は、台風来襲前の降雨の有無、両者の生起時差、河川の流出特性などの条件によっては、上記のように決して起こり得ない現象ではなく、とくに河川下流域における治水対策上、むしろ考慮しておくべき問題であるとする。

そこで、本研究では、高潮と洪水とが重畳した場合に河道で生じる水理特性を調べることとする。

## 2. 重畳時の解析法

本研究では、河川の一次元解析の下流端条件である河口潮位を、海域の影響を考慮して評価する方法を用い、大阪湾と淀川を対象に解析モデルを構築した上で、河道内流動の検討を行う。

海域における高潮の計算には二次元解析法を、河川における高潮の遡上および洪水流の流下の計算には一次元解析法を、それぞれ適用し、両者を河口において接続して、同時に計算する方法をとる。河川域の計算に一次元解析を用いた理由は、河川域では伝統的に一次元解析が慣用されている上、河道の諸量(例えば、河川形状、水面幅、径深など)が比較的容易に取り扱えるからである。

### 2.1 海域における二次元解析法

海域には、支配方程式として浅水方程式を用い、差分法による離散化を行っている。高潮計算では、気圧場、風速場および開境界条件の取り扱いが重要となる。本研究では、気圧場はSchloemerの式によって、また、風速場は台風の移動に伴って発生する風と、気圧傾度による傾度風とのベクトル和によって算出する(武田ら, 1996)。開境界条件は、推算天文潮に気圧変動に伴う吸い上げ量(式(1))と吹き寄せ量(式(2))とを合算して求める。

$$\Delta h_p = 0.991 \Delta p \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta h_w = \alpha \Delta h_p \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $\Delta p$ (hPa): 気圧低下量、 $\alpha$ は定数(1.0)である。著者らは、高潮解析の開境界条件として、開境界に現れる陸域からの反射の影響を考慮に入れる二段階の高潮解析手順(武田ら, 1996)を提案しているが、それと異なる上記の設定は、対象とする水理現象が高潮の主要部(storm surge)に関わるため、陸域の反射を考慮しなくても大きな違いにならないと考えたからである。

### 2.2 河川における一次元解析法

河川域には、支配方程式として、つぎの連続式(式(3))とエネルギー方程式(式(4))を用いる。

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad \dots\dots\dots (3)$$

\* 正会員 工博 中部大学助手 工学部土木工学科  
 \*\* 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所水工部波浪研究室  
 \*\*\* 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所  
 \*\*\*\* 正会員 Ph.D. 京都大学助教授 防災研究所

$$\frac{\beta}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\alpha v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \lambda \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x} = s_0 - s_f \cdots \cdots (4)$$

ここに、 $x$ ：一次元の空間座標(河川の流れ方向の下流向きにとられる)、 $t$ ：時間、 $A$ ：流水断面積、 $Q$ ：流量、 $q$ ： $x$ 方向単位長さあたりの横流入流量、 $v=Q/A$ ：断面平均流速、 $s_0=\sin \theta$ ：水路底勾配、 $s_f$ ：摩擦勾配、 $h$ ：水深、 $g$ ：重力加速度、 $\alpha$ ：エネルギー係数、 $\beta$ ：運動量係数、 $\lambda$ ：エネルギー解析法における圧力分布補正係数である。また、これらの離散化には、特性曲線法に基づく井上の方法(1986)が適用されている。

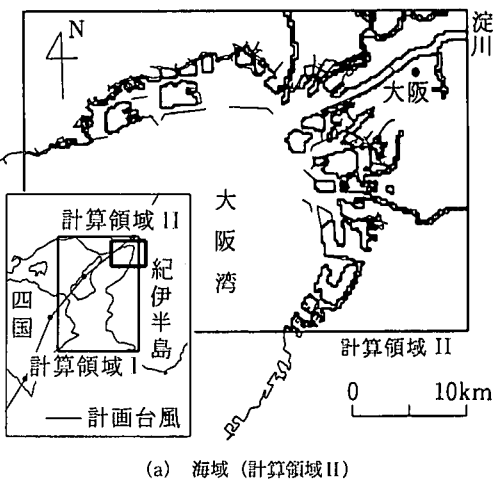
2.3 海域と河川の接続方法

海域(具体的には大阪湾)と河川域(具体的には淀川)の境界面は図-1のような直線型とし、連続式を満たすように、河川から海域へは流量を流量フラックス  $M$  に変換して与え、逆に海域から河川へは河口部における水位の平均値を河川下流端水位  $H_m$  として与える。

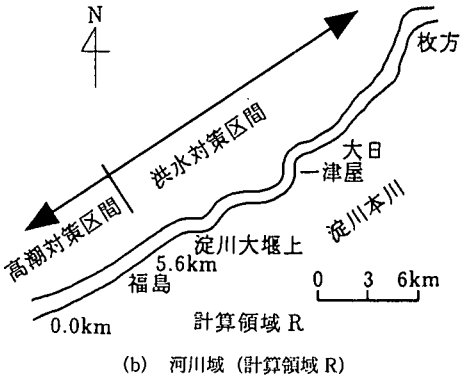
つぎに、河川が海域の差分格子へ斜めに流入する影響は、図-1中に示した仮想の二次元格子(点線)で流量フラックス  $N_j$  を考え、境界面において移流の効果を持たせることによって表現している。ただし、この方法を用いて計算を実施したところ、移流の効果によって河口の南側の水位が高くなり、横断方向に水面勾配が生じた。しかし、実際には河口に横断方向の水面勾配がつくとは考えにくいので、河口を形成する海域の差分格子の水位を平均し、これを河川の下流端水位とした。

つぎに、全体の計算領域を図-2に示す。河川については、上流端を枚方地点とし、淀川河口の0.0 kmまでをとっている(計算領域 R)。計算条件として、枚方におい

ては図-3の5313型の流量ハイドログラフを与え、海域では大阪で想定されている「計画台風(室戸台風コース、伊勢湾台風規模)」を用い、1996年9月27日8時頃に潮位偏差が最大になるように設定した。両者の最大値の生起時差は、河口の高潮ピークより河川上流端(枚方)の



(a) 海域(計算領域 II)



(b) 河川域(計算領域 R)

図-2 計算領域

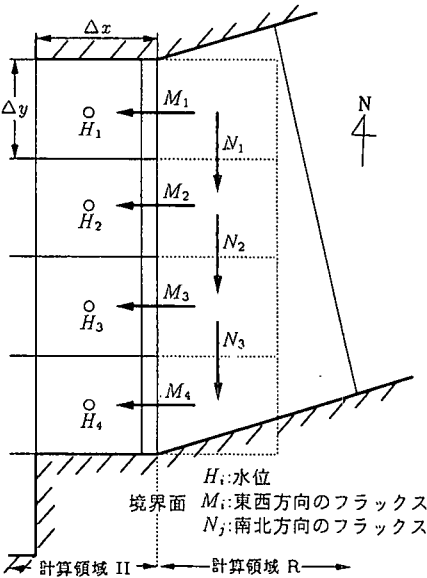


図-1 海域と河川域の接続

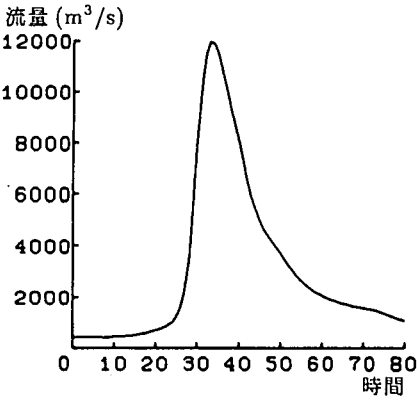


図-3 計画基本高水の流量ハイドログラフ

洪水ピークが先行した場合を負と定義し(図-4),  $\tau = -3$  時間 $\sim +3$  時間の7通りの計算を行う。

### 3. 重畳の生起時差の影響

#### 3.1 生起時差と河川水位

河川の上流端条件として平水時の流量(140 m<sup>3</sup>/s)を定

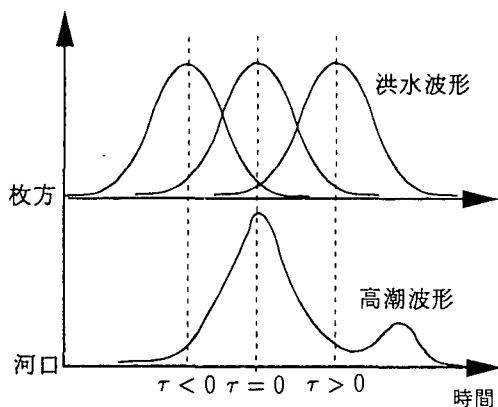


図-4 生起時差  $\tau$  の定義

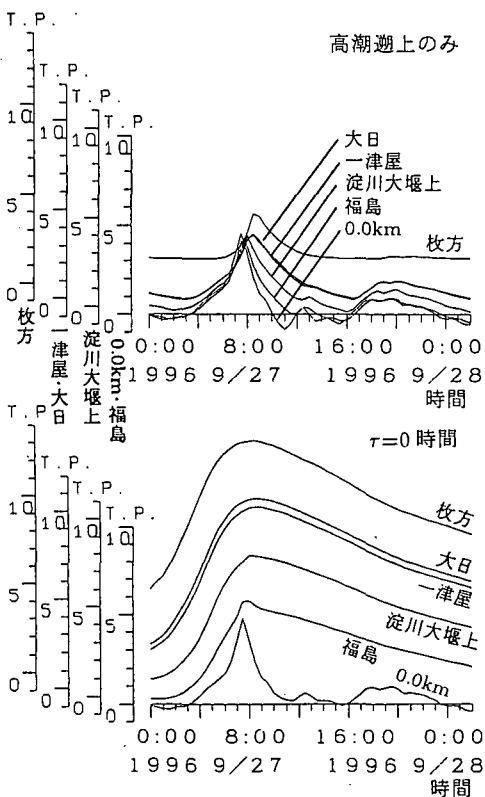


図-5 水位図

常的に与えた場合を考え、「高潮遡上のみ」として河道内のいくつかの地点の水位ハイドログラフを求め、さらに図-3の洪水を上流端条件として  $\tau=0$  時間という重畳した場合の同様の水位ハイドログラフを求め、それらをまとめて表したのが図-5である。図から、河道内における高潮の遡上をみの場合と重畳した場合とでは、水位ハイドログラフに明瞭な違いがみられる。すなわち、高潮の遡上をみの場合は高潮の影響が枚方まで及んでいるのに対し、重畳した場合は洪水の影響が大きく、高潮の影響は枚方地点のような上流域にまでは及んでいない。ただし、実際の河川管理では、平水時に高潮が発生した場合、淀川大堰は全閉されるので、それより上流への高潮の遡上は生じないことになっている。

生起時差  $\tau$  と最大水位の関係を図-6に示す。図では、 $\tau = -2$  時間 $\sim +1$  時間のときに、河口から枚方までの区間内のどこかで高潮のピークと洪水のピークが重なっているようであり、 $\tau = -1$  時間のときに河口域の広い範囲で水位が最も高くなっている。また、 $\tau = -1$  時間あるいは  $\tau = -2$  時間のどちらの場合においても、福島地点および淀川大堰上地点において重畳の現象がみられる。したがって、重畳作用による水位上昇は、ある特定の場所でのみ顕著に現れるのではなく、河川内に広く分布して現れるとともに、ある地点において重畳の影響を引き起こす高潮と洪水の生起時差  $\tau$  にも、一定の範囲があると考えられる。

#### 3.2 生起時差と流速

図-7に4つの代表断面における流量ハイドログラフ、図-8に6つの代表断面における流速ハイドログラフを示す。図-7から、 $\tau = -3$  時間の場合、0.0 km 地点では、高潮のピークの生起時刻(午前8時)前後において急激な流量の変化が生じており、同じ傾向が福島地点でも認められる。このような流量の変化は、高潮による河

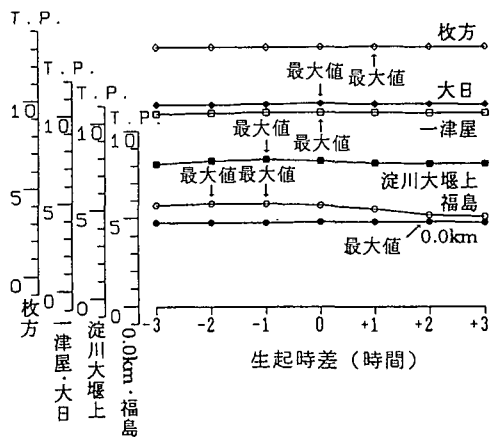


図-6 生起時差  $\tau$  と最大水位

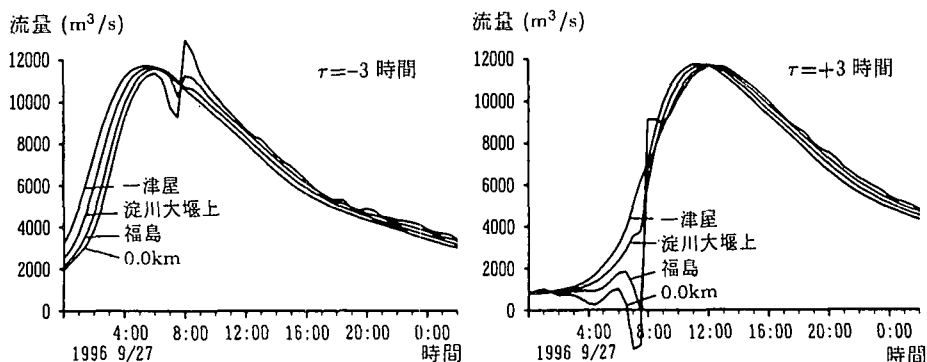


図-7 流量の時間変化

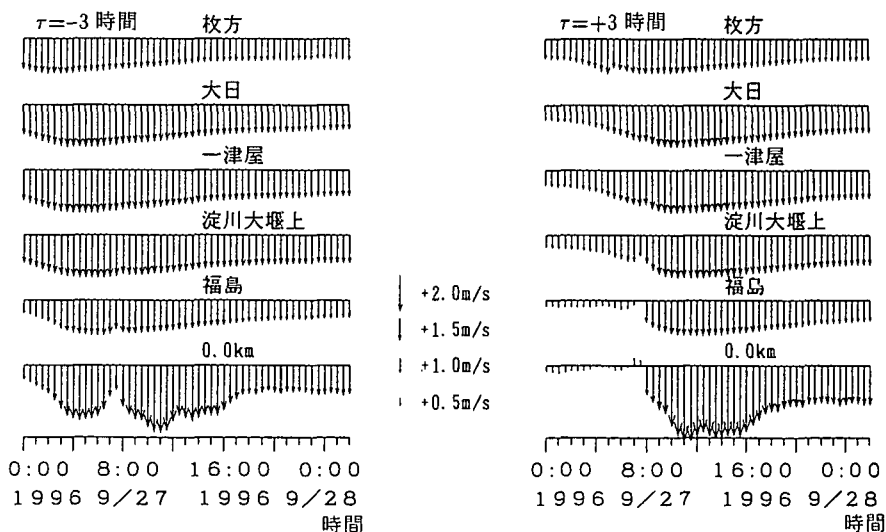


図-8 流速の時間変化

口潮位の上昇にともない、河川に大きなせき上げが発生し、洪水の流下が妨げられるとともに、その後の河口潮位の低下とともに、一気に洪水が流出することを表している。また、この挙動を図-8においてみると、0.0 km地点では一度流速が減少してから、続いて減少前の流速より大きな流速が現れるが、福島地点ではそのような現象は認められない。このことから、福島地点では流量の増加は、全て水位の上昇によってもたらされていると考えられる。

$\tau = +3$  時間の場合、図-7では、0.0 km地点において逆流が起こっている。また、図-8では、0.0 km地点において高潮遡上による逆流の発生までは小さい流速値であるのに対し、それ以降では流速が著しく増大しており、流速の時間的変化の激しいことが分かる。この理由として、0.0 km地点では高潮のピーク生起以後に洪水ピークが伝播してくるためそれ以前の河川流量はさほど大きく

なく、また、図-7から分かるように河川に遡上した高潮が海域へ流出するのに洪水の流出が相乗することが挙げられる。

#### 4. 淀川における高潮対策および洪水対策

##### 4.1 高潮対策および洪水対策の現状

大阪における高潮対策は、計画台風を想定したもので、淀川の高潮区間における堤防天端高は、朔望平均満潮位 T.P.+0.9 mに潮位偏差 (3.0 m) と波浪と余裕高 (2.9 m) を加えた T.P.+6.8 mとされている。

一方、洪水対策は、昭和39年の新河川法の施行に伴い、昭和40年の「淀川水系工事実施基本計画」が定められ、計画高水流量は12000 m³/sと設定されている。洪水対策施工区間の現行堤防高はこれをもとに定められている。

高潮、洪水の対策は、それぞれ上記のようにして定められているが、両者の重畳災害は、現在のところ考慮さ

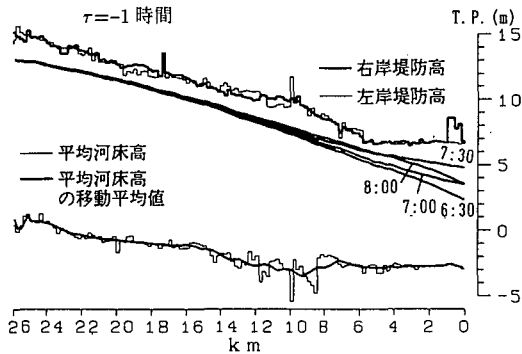


図-9 水位の縦断分布

れておらず、河口から5.6 km 辺り(福島地点よりやや上流)の地点で両者のすり付けが行われており、それより下流が高潮区間、上流が洪水区間といわれている。

#### 4.2 重畳現象からみた淀川治水対策

本節では、淀川下流部の広い範囲にわたって水位が最も高くなる、 $\tau = -1$  時間の場合について、現況河道の安全性を検討する。このときの縦断方向の水位分布、すなわち水面形を図-9に示す。この図をみると、下流部において高い水位上昇が生じており、高潮区間と洪水区間のすりつけ部および河口から7.5 km 付近において、堤防天端高にわずかに数10 cm にまで迫っている。本研究では波浪や河川水位に対する風の影響を考慮していないことから、これらの箇所では実際に重畳が生じた場合、とくに注意を要するといえる。なお、堤防高の局所的な凹凸の理由は、現在のところ分からない。

また、3.2で述べたように、重畳時の高潮のピーク生起時刻以後に洪水ピークが生起する場合においては、大きな流速値が見られた。河口部において大きな流速が現れた場合、それに伴い流体力は増加するから、流木などの流出物や漂流物の衝突などによる災害や、洗掘による堤防の決壊などの被害の発生を注意しておかなくてはならない。また、海域において河口付近の流速が増加するこ

とにより、その近隣に係留する小型船舶に与える影響も懸念されるところである。これらの災害の対策は本研究では取り上げなかったが、今後は考慮すべき課題の一つであろう。

#### 5. おわりに

ここで得られた結論をまとめると以下のとおりである。

1) 枚方における洪水ピークが河口における高潮ピークよりも一時間先行する場合に、淀川大堰上地点付近において両者のピークが出会い、淀川下流部の広い範囲にわたって重畳による水位上昇が現れる。

2) 河川下流部において、洪水のピークが高潮のピーク生起後に到達する場合には、高潮による潮位上昇により河道内に大規模なせき上げが発生し、それによって貯留された河川水や遡上してきた海水が、潮位低下時に重畳して一気に流出するため、大きな流速が現れる恐れがある。

3) 淀川の治水対策の検討から、高潮対策と洪水対策の遷移区間および河口から7.5 km 付近で水位が堤防天端高にかなり近づく可能性のあることを示した。

#### 参考文献

- 端野道夫・神田 徹(1985): 台風による降雨と高潮の同時生起性に関する研究, 土木学会論文集, 第357号, pp. 141-148.
- 端野道夫(1984): Marked point process に従う水文二変量の同時確率, 第28回水理講演会論文集, pp. 391-396.
- 小西達男・木下武雄(1985): 高潮の河川遡上に関する研究(II), 国立防災科学技術センター研究報告, 第34号, pp. 13-44.
- 武田 誠・上塚哲彦・井上和也・戸田圭一・林 秀樹(1996): 大阪湾域部の高潮氾濫解析—計算モデルの検証と高潮対策の有効性—, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 266-270.
- 井上和也(1986): 開水路非定常流の数値計算法とその水工学への応用に関する研究, 京都大学学位論文, pp. 172-177.
- 平山克也・武田 誠・井上和也・松隈 純: 大阪湾域部の高潮と洪水の重畳災害に関する研究, 土木学会第51回年次学術講演会講演概要集2, pp. 742-743.