

II-475 高潮発生の再現期間と計画高潮位の決定 —清水港を例として—

日大理工学部 川 北 米 良

1. まえがき 海岸地帯の高潮防御工事には、計画高潮位の設定が必要である。従来計画高潮位として、①既往最高潮位、②朔望平均満潮位に既往最大潮位偏差あるいは推算潮位偏差を加えた潮位、③高潮の再現期間を定めて、これに対する潮位を推算した値などが用いられてきた。しかし既往最高潮位は潮位観測期間の増大とともに更に高く更新され、また高い潮位の再現期間は不確実なことが多い。このことを清水港の潮位観測データを用いて実証した。よって従来の計画高潮位の決定法は高潮防災計画の基準としての意味が薄いと言わざるをえない。本研究においては計画高潮位の決定のために確率的計画法を提案し、清水港の計画高潮位の試算を行った。^{1),2)}

2. 清水港の高潮再現期間 清水港検潮所における1951～1988年の38年間の年最高潮位の観測値を用いて頻度分布図を作り、その確率密度関数としてGumbel分布（Ⅰ型極値分布）を仮定してあてはめたのが図1である。1989年の潮位表による朔望平均満潮位（HWL）はTP+0.806mで、既往最高潮位（ x_{max} ）は1953年9月25日19時10分Tess台風によって発生したTP+1.533mである。その再現期間（ T ）はGumbel分布により $T=64.2$ 年と推算された。また $x_{max}=TP+1.533$ mを1988年以後50年間、すなわち2038年までに超過する高潮の発生確率 p_{50} はGumbel分布の仮定のもとで $p_{50}=1-\exp(-50/38)=0.73$ となり、やや大きな確率である。ゆえに既往最高潮位を計画高潮位（ y ）に用いても、理論的決定理由が不十分である。ではこの50年間90%の確立で超過しない計画高潮位 $y_{50,0.9}$ 、再現期間 $T_{50,0.9}$ および非超過率 $F_{50,0.9}$ は（A）観測期間38年の年最高潮位分布の最高潮位 $x_{max}=TP+1.533$ mを最も確からしい値と考えた場合：

$$y_{50,0.9}=1.533+(1/8.26)\ln\{50/\{30\times(1-0.9)\}\}=TP+1.845\text{m}, T_{50,0.9}=839\text{年}, F_{50,0.9}=0.998808445$$

（B）38年間の観測で得た年最高潮位分布のパラメータ λ_g, x_g に基づく場合：
 $y_{50,0.9}=1.03+(1/8.26)\ln\{50/(1-0.9)\}=TP+1.782\text{m}, T_{50,0.9}=499\text{年}, F_{50,0.9}=0.997995825$ となる。（A）、（B）両者を比べると、潮位発生の、非超過確率はかなり良く近似しているにもかかわらず、両者の再現期間はそれぞれ839年、499年と大きく異なる。

表1にはGumbel分布による再現期間の計算値の他に、指数分布およびThomas plotによる再現期間の計算値も比較参考のために付記した。表1で明らかなように高潮の再現期間の値は既往最高潮位を越えるあたりから、小さな潮位差で数十～数百年の大差を生ずる。更に仮定した確率分布型によって、既往最高潮位を越える高い潮位の再現期間の計算値が大きく異なり、再現期間の信頼性が低下する。

3. 計画高潮位の算定モデル 一般に海岸地帯の高潮防御施設は、計画高潮位を高く定めると建設費は増大し、高潮被害の期待値は減少する。逆に計画高潮位を低くすると建設費は減少するが、高潮被害の期待値は増大する。すなわち高潮防御対策はまれに起こる高潮災害に対して、費用を防御のために費やすか、被害のために失うかの問題に帰着する。そこで高潮防御の建設

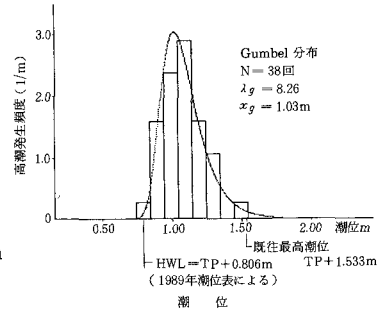


図1 清水港における年最高潮位の発生頻度分布

表1 清水港の高潮再現期間

n	観測年	潮位 x TP+(m)	P	指数分布	Gumbel分布
1	1957	0.840	1.0	0.5	1.0
2	1970	0.893	1.1	0.7	1.0
3	1958	0.909	1.1	0.7	1.1
4	1956	0.923	1.1	0.8	1.1
5	1969	0.923	1.1	0.8	1.1
6	1955	0.943	1.2	1.0	1.1
7	1986	0.954	1.2	1.0	1.2
8	1964	0.960	1.3	1.1	1.2
9	1967	0.969	1.3	1.1	1.2
10	1974	0.969	1.3	1.1	1.2
11	1987	0.984	1.4	1.3	1.3
12	1962	1.026	1.4	1.7	1.6
13	1965	1.030	1.5	1.8	1.6
14	1968	1.037	1.6	1.9	1.6
15	1959	1.039	1.6	1.9	1.7
16	1954	1.043	1.7	2.0	1.7
17	1966	1.069	1.8	2.4	1.9
18	1973	1.069	1.9	2.4	1.9
19	1977	1.069	1.9	2.4	1.9
20	1984	1.074	2.1	2.4	2.0
21	1972	1.079	2.2	2.5	2.1
22	1976	1.089	2.3	2.7	2.2
23	1988	1.093	2.4	2.8	2.2
24	1983	1.094	2.6	2.8	2.2
25	1961	1.100	2.8	2.9	2.3
26	1982	1.109	3.0	3.1	2.5
27	1981	1.149	3.2	4.2	3.2
28	1975	1.159	3.5	4.5	3.4
29	1952	1.160	3.9	4.5	3.5
30	1971	1.169	4.3	4.8	3.7
31	1978	1.199	4.9	6.0	4.6
32	1980	1.200	5.6	6.1	4.6
33	1985	1.244	6.5	8.3	6.4
34	1979	1.259	7.8	9.3	7.1
35	1963	1.268	9.7	9.9	7.7
36	1960	1.318	13.0	14.1	11.3
37	1961	1.318	19.6	14.1	11.3
38	1953	1.533	38.5	66.5	64.2
		1.600		107.0	111.0
		1.700		221.0	254.0
		1.800		454.0	579.0
		1.900		934.0	1322.0
		2.000		1920.0	3018.0

PはThomas plotによる再現期間

$$P=(1-n/(N+1))^{-4}$$

●印は既往最高潮位

設費(M)と海岸地帯の毎年の高潮被害の期待値の現在価値の累年の和(Ψ_0/r)との合計 J を

$$J(y) = M(y) + (\Psi_0/r) \quad (1)$$

で計算し、この $J(y)$ の値を最小ならしめる潮位、すなわち investment-risk trade off の状態の y の値を(1)式から求め、この y の値を計画高潮位と定義する(図2)。ここに r は社会的割引率(年率)、 Ψ_0 は海岸地帯の年間高潮被害の期待値である。

海岸地帯の高潮被害関数 $\varphi(x, y)$ 、および護岸、係船岸、埋立等の高潮防御の建設費 $M(y)$ は次のように仮定する:

$$\varphi(x, y) = \begin{cases} k(x-y), & (x > y) \\ 0, & (x \leq y) \end{cases} \quad (2) \quad \begin{array}{l} x = \text{潮位} \\ k = \text{被害係数} \end{array}$$

$$M(y) = m_2 y^2 + m_1 y + m_0 \quad (3) \quad m_2, m_1, m_0 = \text{建設費に関する定数}$$

また高潮発生頻度分布を Gumbel 分布および指数分布と仮定すれば、(1)式は次のように書ける:

$$J(y) = M(y) + \frac{k}{r} \left\{ -\frac{\theta(\sigma)}{\lambda g} - (y - x_g) \{ 1 - \exp(-e^{-\mu}) \} \right\} \quad (4) \quad \left. \begin{array}{l} \lambda g, x_g = \text{Gumbel 分布の} \\ \text{パラメータ} \end{array} \right\}$$

ここに $\theta(\sigma) = \sum_{j=1}^{\infty} \left(\ln \sigma - \frac{1}{j} \right) \frac{(-1)^{j+1}}{j!} \sigma^j$, $\sigma = \exp \{ -\lambda g(y - x_g) \}$, $\mu = \lambda g(y - x_g)$

指数分布を用いた場合:

$$J(y) = M(y) + \frac{k}{\lambda r} e^{-\lambda(y-b)} \quad (5) \quad \lambda, b = \text{指数分布のパラメータ}$$

4. 清水港の計画高潮位の計算諸元 (1)式で示すモデルを用いて清水港の計画高潮位を試算するにあたり、計算諸元を表2のように定める。ただし建設費の定数(m_2, m_1, m_0)の計算に使用した工費は1980年の価格である。

5. 清水港の計画高潮位の試算結果 (4)および(5)式に表2の諸元を与えて高潮発生頻度分布が Gumbel 分布および指数分布の場合の計画高潮位(y)を試算した。このとき y が海岸地帯の damage potential の変化や経済変動に対していかに影響を受けるかを調べるために、被害係数を3通り、社会的割引率を2通りそれぞれ変化させ、12通りの y の値を求めた。その結果は表3のようである。すなわち y の計算値は Gumbel 分布の場合も指数分布の場合も共にほとんど一定で $y = \text{TP} + 1.4 \sim 1.5 \text{ m}$ である。そして y は被害係数の増大に対して高くなり、逆に社会的割引率の増大に対して低くなる傾向があるが、その変動は小さい。これは海岸地帯の土地利用が高度化して damage potential が高くなれば計画高潮位も高く決める必要があり、逆に経費が増大すると計画高潮位は低く押さえられて高潮防御の規模を縮小せざるを得ないことを意味し社会通念と一致する。 y は 0.1 m きざみで計算しており、既往最高潮位や土地利用の高度化を考慮すれば、計画高潮位を $\text{TP} + 1.6 \text{ m}$ に決めるのが妥当と考えられる。この潮位の再現期間は Gumbel 分布で 111 年、指数分布で 107 年である(表1参照)、なお地球温暖化に伴う海面上昇の現象に対しては別途考慮する必要がある。

(文献) 1) 川北米良: 海面埋立地の最適地盤高, オペレーションズ リサーチ Vol. 31, No. 9, 日本OR学会 1986

2) 川北米良: 海岸防潮堤の最適計画高潮位の決定方法とその有明海北部沿岸への適用, 土木計画学研究講演集 No. 10, 1987

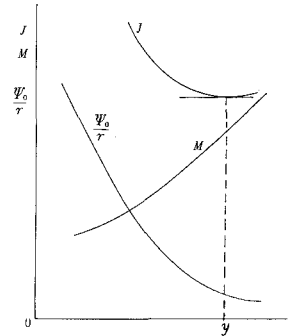


図2 investment-risk trade off の計画高潮位(y)

表2 清水港の計画高潮位の計算諸元

Gumbel 分布 パラメータ	$\lambda g = 826$	$x_g = 1.03 \text{ m}$
指数分布パラメータ	$\lambda = 7.20$	$b = 0.95 \text{ m}$
建設費の定数	$m_2 = 4.2955 \times 10^8$, $m_1 = 1.333 \times 10^{10}$ $m_0 = 6.8971 \times 10^{10}$	
社会的割引率(r)	0.07	0.09
被害係数(k)(円/m)	2×10^{10}	4×10^{10} 6×10^{10}

表3 清水港の計画高潮位の試算結果

被害係数 k (円/m)	Gumbel 分布		指数分布	
	社会的割引率 r		社会的割引率 r	
	$r = 0.07$	$r = 0.09$	$r = 0.07$	$r = 0.09$
2×10^{10}	$y = 1.4 \text{ m}$	$y = 1.4 \text{ m}$	$y = 1.4 \text{ m}$	$y = 1.4 \text{ m}$
4×10^{10}	1.5	1.5	1.5	1.5
6×10^{10}	1.5	1.5	1.5	1.5