

日本沿岸における潮位の計画水面について

久 宝 雅 史*・竹 沢 三 雄**

1. 概 説

海岸および港湾構造物は、つねに水中にある部分、しばしば水中にもでる部分、あるいはときどき水中になる部分がある。これは、主として、潮汐の変動によって起こり、海岸および港湾構造物の計画水面として考慮せねばならないものと思われる。

日本沿岸における潮汐の変動は、太平洋岸では比較的大きいが、日本海沿岸は比較的小さい。

一般に、潮汐は、確率変量とは認められないが、かりに、潮汐の変動を統計的に取り扱うことが許されるならば、潮位の頻度分布がえられ¹⁾、その分布の超過確率から、計画水面が推定される。

たとえば、潮汐表²⁾や潮位表³⁾から、潮候曲線をかき、また、土木工学的な実測面から考えて、10 cm の階級値を用いることとした。こうして、潮位の頻度分布を求めると、両端有限でつり鐘状の分布になる。したがって、この分布をピアソンⅠ型分布曲線（または特別な場合として同Ⅱ型をふくむ）

$$y = y_0 \left(1 + \frac{x}{a}\right)^{\nu_a} \left(1 - \frac{x}{b}\right)^{\nu_b} \quad \dots\dots\dots (1)$$

にあてはめると、かなり満足できる結果がえられる⁴⁾。ただし、 ν は分布曲線形による定数、 a 、 b はそれぞれモードの潮位から下限および上限の潮位までの高さ、 y_0 はモードである。また、日本沿岸10港の同一地点における5か年間の毎年の潮位の頻度分布をみても、前記階級値10 cmの間では、ほとんど変化がなく⁵⁾、1か年間の潮候曲線から求めた潮位の頻度分布をピアソンⅠ型分布曲線式にあてはめ、その分布曲線をその地点の代表する潮位分布曲線として実用的にはさしつかえないと思われる。

このように、潮位の頻度分布が、ピアソンⅠ型分布曲線で表わされるとすれば、日本沿岸における各港の計画潮位が、潮位分布曲線の超過確率から適宜に選ぶことができる。

2. 満潮面および干潮面の分布曲線

いま、モードの潮位 X_0 以上の潮位の分布をかりの満潮面の分布とし、モードの潮位 X_0 以下の潮位の分布をかりの干潮面の分布とする。そうすると、潮位の分布が式(1)のピアソンⅠ型分布曲線と与えられるならば、当然、それらの満潮面および干潮面の分布曲線は、式(1)を微分して与えられることになり、その分布曲線式は、

$$Y = y_0 \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right)^{\nu} x \left(1 + \frac{x}{a}\right)^{\nu_a-1} \left(1 - \frac{x}{b}\right)^{\nu_b-1} \cdot dx \quad \dots\dots\dots (2)$$

になる⁶⁾。ただし、 dx は潮位の階級値として与える。また、式(1)、(2)で y_0 、 a 、 b は、潮位の頻度分布から直接与えられる定数であるが、定数 ν の値は、

$$\nu = \frac{\log y - \log y_0}{a \log \left(1 + \frac{x}{a}\right) + b \log \left(1 - \frac{x}{b}\right)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

から求められるが、その値は多少ばらつくため、これを実際に日本沿岸の各港の潮位データから求めてみると、満潮面の分布曲線と干潮面の分布曲線の定数 ν の値は、それぞれ、 ν_a 、 ν_b として求めたほうが、実際の頻度分布にかなり近似する。たとえば、表—1は東京築地における昭和39年の1年間の潮位の頻度と定数 ν の値である。

表—1 東京の潮位頻度と定数 ν の値

X_n (cm)	y	x	ν ($\times 10^{-3}$)	X_n (cm)	y	x	ν ($\times 10^{-2}$)
-20	2	-150	1.83	100	1155	-30	2.44
-10	17	-140	1.76	110	1266	-20	2.13
0	65	-130	1.62	120	1333	-10	2.25
10	121	-120	1.66	130	1359	0	—
20	208	-110	1.68	140	1308	10	4.23
30	334	-100	1.56	150	1204	20	3.20
40	439	-90	1.61	160	1049	30	2.87
50	559	-80	1.65	170	849	40	2.73
60	678	-70	1.72	180	600	50	2.77
70	815	-60	1.74	190	314	60	3.05
80	928	-50	1.88	200	141	70	2.93
90	1035	-40	2.10	210	4	80	4.38

$$\nu_a = 0.0170, \quad \nu_b = 0.0326$$

したがって、式(2)は、それぞれ、

$$Y = y_0 \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right)^{\nu} b \cdot x \left(1 + \frac{x}{a}\right)^{\nu_a-1} \left(1 - \frac{x}{b}\right)^{\nu_b-1} \cdot dx \quad \text{(満潮面の分布曲線)}$$

* 正会員 工博 日本大学教授 理工学部土木工学科

** 正会員 工修 日本大学理工学部土木工学科

$$Y' = y_0 \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)^{\nu_a} \cdot x \left(1 + \frac{x}{a} \right)^{\nu_a \cdot a - 1} \left(1 - \frac{x}{b} \right)^{\nu_a \cdot b - 1} \cdot dx$$

(干潮面の分布曲線)

で与えれば、実際の頻度分布に近似する分布曲線がえられる。

3. 計画潮位について

計画潮位は、潮位の超過確率から推定されるのが合理的であろう。したがって、潮位の頻度分布がピアソンⅠ型分布曲線で表わることから、海岸および港湾構造物の計画潮位は、ピアソンⅠ型分布曲線の超過確率から推定することができ、統計的に意義ある潮位を設計に用いることができよう。

図-1は、潮位の分布曲線および前に示したかりの満潮面、干潮面の分布曲線である。たとえば、その満潮面の分布曲線で表わされる頻度は、図-1からも明かなように、

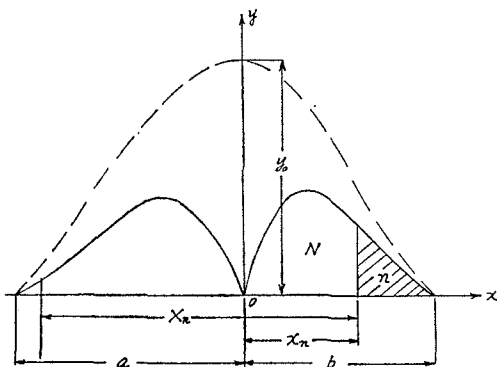


図-1 潮位および満潮面、干潮面の分布曲線

$$\int_b^0 y_0 \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)^{\nu_b} \cdot x \left(1 + \frac{x}{a} \right)^{\nu_b \cdot a - 1} \left(1 - \frac{x}{b} \right)^{\nu_b \cdot b - 1} \cdot dx$$

$$= \left[y_0 \left(1 + \frac{x}{a} \right)^{\nu_b \cdot a} \left(1 - \frac{x}{b} \right)^{\nu_b \cdot b} \right]_b^0$$

$$= y_0 \dots \dots \dots (6)$$

であり、満潮面の全頻度 N は潮位分布のモード y_0 に等しい。干潮面の分布曲線も同様である。

いま、モードの潮位を X_0 とすると、 X_0 から x_n の高さの潮位 X_n の超過頻度 n は、

$$n = \int_b^{x_n} y_0 \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)^{\nu_b \cdot a} \cdot x \left(1 + \frac{x}{a} \right)^{\nu_b \cdot a - 1} \left(1 - \frac{x}{b} \right)^{\nu_b \cdot b - 1} \cdot dx$$

$$= y_0 \left(1 + \frac{x_n}{a} \right)^{\nu_b \cdot a} \left(1 - \frac{x_n}{b} \right)^{\nu_b \cdot b} \dots \dots \dots (7)$$

となる。式(1),(2)の関係から、

$$\left(1 + \frac{x_n}{a} \right)^{\nu_b \cdot a} \left(1 - \frac{x_n}{b} \right)^{\nu_b \cdot b} = \frac{n}{y_0} \dots \dots \dots (8)$$

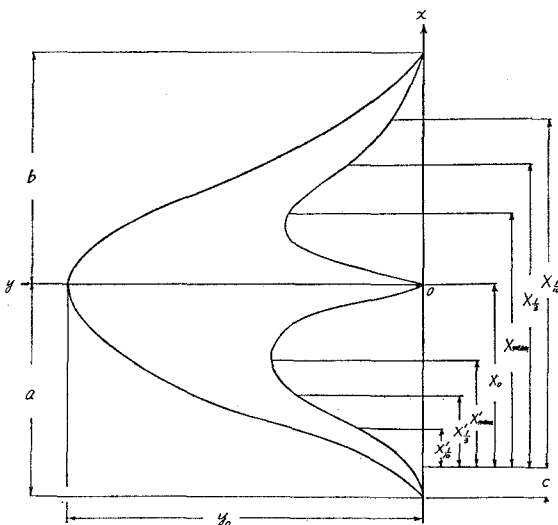


図-2 計画潮位

となり、したがって、式(8)に定数 a, b, ν_b および潮位 x_n の超過確率 n/y_0 を代入すると、モードの潮位 X_0 から x_n の高さの潮位 X_n が求められる。すなわち、

$$X_n = x_n + (a - c) \dots \dots \dots (9)$$

ただし、 c は、ほぼ最低低潮面以下の潮位である。

したがって、図-2のように、潮位の計画水面として、かりに、最大1/10平均満潮面 $X_{1/10}$ 、最大1/3平均満潮面 $X_{1/3}$ 、平均満潮面 X_{mean} 、モードの潮位 X_0 、平均干潮面 X'_{mean} 、最大1/3平均干潮面 $X'_{1/3}$ 、最大1/10平均干潮面 $X'_{1/10}$ をえらぶとすると、式(9)から、

$$\left. \begin{aligned} X_{1/10} &= x_{1/10} + (a - c) \\ X_{1/3} &= x_{1/3} + (a - c) \\ X_{mean} &= x_{mean} + (a - c) \\ X_0 &= a - c \\ X'_{mean} &= (a - c) - x'_{mean} \\ X'_{1/3} &= (a - c) - x'_{1/3} \\ X'_{1/10} &= (a - c) - x'_{1/10} \end{aligned} \right\} \dots \dots (10)$$

となる。また、式(8)から、

$$\left. \begin{aligned} \left(1 + \frac{x_{1/10}}{a} \right)^{\nu_b \cdot a} \left(1 - \frac{x_{1/10}}{b} \right)^{\nu_b \cdot b} &= 0.05 \\ \left(1 + \frac{x_{1/3}}{a} \right)^{\nu_b \cdot a} \left(1 - \frac{x_{1/3}}{b} \right)^{\nu_b \cdot b} &= 0.167 \\ \left(1 + \frac{x_{mean}}{a} \right)^{\nu_b \cdot a} \left(1 - \frac{x_{mean}}{b} \right)^{\nu_b \cdot b} &= 0.5 \\ \left(1 + \frac{x'_{mean}}{a} \right)^{\nu_a \cdot a} \left(1 - \frac{x'_{mean}}{b} \right)^{\nu_a \cdot b} &= 0.5 \\ \left(1 + \frac{x'_{1/3}}{a} \right)^{\nu_a \cdot a} \left(1 - \frac{x'_{1/3}}{b} \right)^{\nu_a \cdot b} &= 0.167 \\ \left(1 + \frac{x'_{1/10}}{a} \right)^{\nu_a \cdot a} \left(1 - \frac{x'_{1/10}}{b} \right)^{\nu_a \cdot b} &= 0.05 \end{aligned} \right\} \dots \dots (11)$$

となり、それぞれの $x_{1/10}$ 、 $x_{1/3}$ 、 x_{mean} および x'_{mean} 、 $x'_{1/3}$ 、 $x'_{1/10}$ の値が求められ、これらの値を式(10)に代

入すれば、ほぼ最低潮低面からの計画潮位 X_n 値が与えられる。ただし、右辺に与えられる超過確率は、たとえば図-3のように、 $x_{1/3}$ は、満潮面の全頻度 N の最大から $N/3$ 個選らび、その潮位の平均潮位であることから、潮位 $x_{1/3}$ は、最大から $N/6$ 個のところの潮位にあたと仮定した。同様に、 $x_{1/10}$ は $N/20$ 個のところの潮位、 x_{mean} は $N/2$ 個のところの潮位である。 $x'_{1/3}$ 、 $x'_{1/10}$ も同様である。

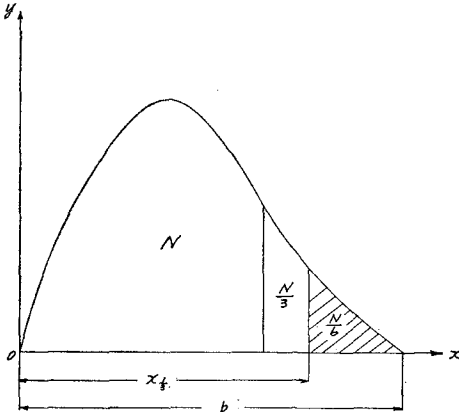


図-3 $x_{1/3}$ の値

4. 有義潮位について

最大 $1/3$ 平均満潮面 $X_{1/3}$ をかりに有義潮位と呼ぶことにする。この潮位は、式(10)から、

$$X_{1/3} = x_{1/3} + (a - c) \dots \dots \dots (10)'$$

で与えられる。また、 $x_{1/3}$ は、式(11)から、超過確率 $0.167(16.7\%)$ の潮位である。

たとえば、東京築地における有義潮位 $X_{1/3}$ は、満潮面の分布曲線式が、

$$Y = 7.383x \left(1 + \frac{x}{160}\right)^{4.216} \left(1 - \frac{x}{90}\right)^{1.934}$$

で与えられるから、 $x_{1/3}$ は、式(11)から、

$$\left(1 + \frac{x_{1/3}}{160}\right)^{5.216} \left(1 - \frac{x_{1/3}}{90}\right)^{2.934} = 0.167$$

となり、 $x_{1/3} = 63.0 \text{ cm}$ となる。したがって、式(10)と表-1 からほぼ最低低潮面からの有義潮位 $X_{1/3}$ は、

$$X_{1/3} = x_{1/3} + (a - c) = 63.0 + 130.0 = 193.0 \text{ cm}$$

と与えられる。

このようにして求めた潮位は、統計的に意義のある値であり、とくに有義潮位は、その超過確率 0.167 で、設計潮位として十分に使用できると考えられる。

図-4 は、日本沿岸の44港における有義潮位と、一般に海岸および港湾構造物の高さの基準になるさく望平均満潮面を表わしたものである。

5. 各港の計画潮位とその関係

日本沿岸の各港における潮位の頻度分布は、実用的にピアソンⅠ型分布曲線で十分満足する結果をえる。

そこで、潮汐表²⁾ および潮位表³⁾ から、日本沿岸の44港における各港の1年間の潮位の頻度分布をピアソンⅠ型分布曲線式にあてはめ、式(10)から、各港の計画潮面 $X_{1/10}$ 、 $X_{1/3}$ 、 X_{mean} 、 X_0 、 X'_{mean} 、 $X'_{1/3}$ 、 $X'_{1/10}$ を求めると、表-2 のような結果をえる。

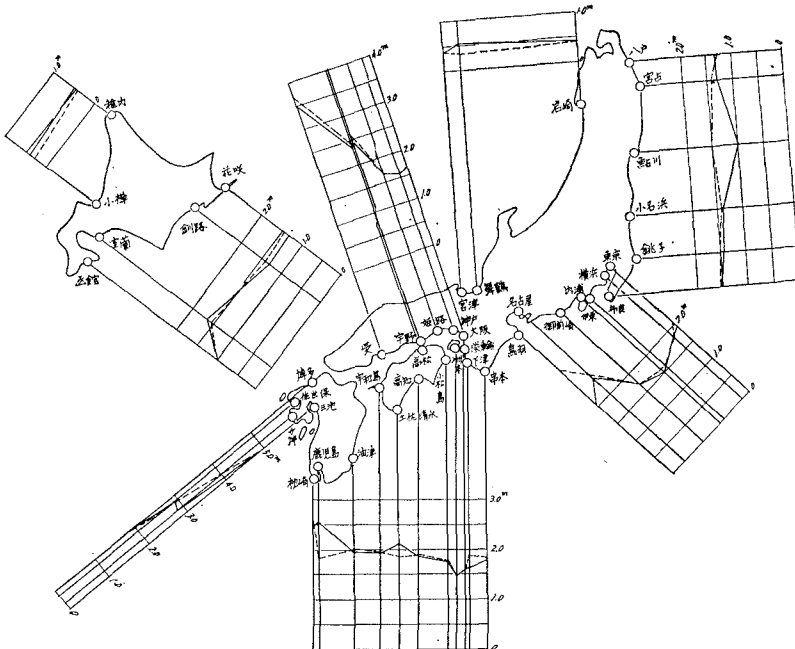


図-4 日本沿岸の有義潮位 (実線; 有義潮位, 点線; さく望平均満潮面)

表-2 日本沿岸における各港の計画潮位

港 名	$\nu_b(\times 10^{-2})$	$\nu_a(\times 10^{-2})$	$b(\text{cm})$	$a(\text{cm})$	$X_{1/10}(\text{cm})$	$X_{1/3}(\text{cm})$	$X_{\text{mean}}(\text{cm})$	$X_0(\text{cm})$	$X'_{\text{mean}}(\text{cm})$	$X'_{1/3}(\text{cm})$	$X'_{1/10}(\text{cm})$
*雅内	3.03	5.34	30	30	49.5	48.0	42.0	20.0	2.0	-4.5	-7.5
花咲	5.08	2.18	70	110	144.0	135.5	121.0	90.0	38.0	12.0	-1.5
銅路	8.42	1.68	50	120	137.0	131.5	121.0	100.0	42.0	12.5	-3.0
室蘭	4.03	2.14	80	140	173.5	164.0	147.5	110.0	51.0	20.0	1.5
函館	5.06	3.58	60	80	108.0	101.0	88.0	60.0	24.0	6.5	-3.5
*小樽	20.65	7.63	30	40	39.0	35.5	30.0	20.0	2.5	-6.0	-11.0
八戸	9.44	1.61	50	120	136.0	130.0	120.5	100.0	40.0	11.0	-4.0
宮古	10.10	1.84	60	120	139.0	132.5	122.0	100.0	43.0	14.5	-1.0
鮎川	9.83	2.87	50	90	105.0	99.0	89.5	70.0	29.5	8.5	-3.0
小名浜	5.84	1.78	60	120	147.0	139.5	127.5	100.0	42.0	14.0	-2.0
*岩崎	7.15	7.15	30	40	46.0	43.0	36.0	20.0	2.0	-7.0	-12.0
銚子	6.39	1.94	70	120	150.5	142.0	128.5	100.0	43.0	15.0	0
銚布良	4.80	2.18	80	130	160.5	150.5	134.5	100.0	43.0	14.0	-3.0
東京	3.26	1.70	90	160	203.5	193.0	174.0	130.0	59.5	23.5	2.5
横浜	2.11	1.83	80	140	193.5	186.0	168.5	120.0	56.5	24.5	6.0
伊東	4.24	1.71	70	130	167.0	158.0	144.0	110.0	47.5	16.5	0
内浦	4.55	2.01	80	120	161.0	151.5	135.0	100.0	43.0	15.0	0
御前崎	3.80	1.83	90	130	180.0	169.0	150.0	110.0	47.5	17.5	1.5
名古屋	1.70	1.52	130	180	262.5	247.5	218.5	150.0	68.5	28.0	5.0
鳥羽	3.00	1.81	110	160	216.5	203.0	180.0	130.0	60.0	24.0	3.5
串本	2.38	2.25	90	150	189.0	179.5	159.5	110.0	50.0	17.5	-2.5
下津	3.36	2.11	90	150	174.5	164.0	144.5	120.0	57.5	25.0	5.5
淡輪	4.48	2.15	80	170	172.0	162.5	146.5	110.0	47.5	11.5	-11.5
大阪	3.08	2.30	90	150	174.5	164.0	144.5	100.0	40.5	8.5	-11.0
神戸	3.48	2.30	80	130	166.0	156.5	139.5	100.0	44.5	16.0	1.0
洲本	5.77	2.16	80	130	157.0	147.5	132.0	100.0	43.0	14.0	-3.0
*舞鶴	2.35	8.22	50	30	57.5	53.5	42.0	10.0	-5.5	-12.0	-15.5
*宮津	5.46	15.00	50	30	43.0	37.0	27.0	10.0	-2.0	-8.0	-11.5
姫路	3.10	2.78	100	130	179.5	167.5	146.0	100.0	47.5	20.5	-4.0
宇野	2.02	1.50	140	160	264.0	247.0	216.5	150.0	71.0	35.0	15.5
呉	0.87	1.03	180	240	367.0	350.0	310.5	200.0	85.0	30.5	1.0
下関	2.82	1.09	130	210	259.5	243.5	217.0	160.0	58.5	9.5	-17.0
高松	2.10	1.94	140	170	253.0	236.0	205.5	140.0	67.5	31.5	10.0
小松島	3.53	2.16	100	140	187.0	174.5	154.0	110.0	49.5	18.5	0.5
高知	3.38	1.95	100	160	198.0	186.0	165.5	120.0	53.0	18.0	-3.0
土佐清水	2.38	1.42	100	160	226.0	214.5	192.5	140.0	62.5	25.0	5.0
宇和島	3.81	1.74	110	160	199.0	195.5	173.0	130.0	58.5	22.5	2.0
油津	3.22	1.70	100	160	209.5	197.5	176.5	130.0	58.5	22.5	2.0
鹿児島	1.55	1.54	160	190	275.0	256.0	220.5	140.0	54.5	13.0	-11.0
枕崎	1.87	1.29	130	200	261.0	245.5	217.5	150.0	58.0	12.5	13.0
三池	0.66	0.65	250	350	530.0	506.0	450.0	300.0	127.5	46.5	3.5
女神	1.80	1.23	160	230	310.0	291.0	258.0	180.0	77.5	26.5	-3.0
佐世保	1.57	1.43	180	220	316.5	294.5	256.0	170.0	75.0	27.0	-0.5
博多	3.05	2.01	130	150	215.5	199.5	173.0	120.0	53.0	20.5	2.0

* 印は日本海側

また、このようにして、潮位の頻度分布曲線が、ピアソンⅠ型分布曲線式で与えられるならば、その分布曲線の超過確率から推定される計画潮位 $X_{1/10}$, $X_{1/3}$, X_{mean} , X_0 , X'_{mean} , $X'_{1/3}$, $X'_{1/10}$ の間の関係は、一定の比で表わされよう。たとえば、図-5, 6 は、日本沿岸の各港における有義潮位 $X_{1/3}$ と最大 1/10 平均満潮面 $X_{1/10}$ の関係および有義潮位 $X_{1/3}$ と平均潮位 X_{mean} の関係である。したがって、日本沿岸の各港の計画潮位の関係は、潮位の頻度分布がピアソンⅠ型分布曲線で与えられると、

$$K_1 = X_{1/10} / X_{1/3} = 1.063$$

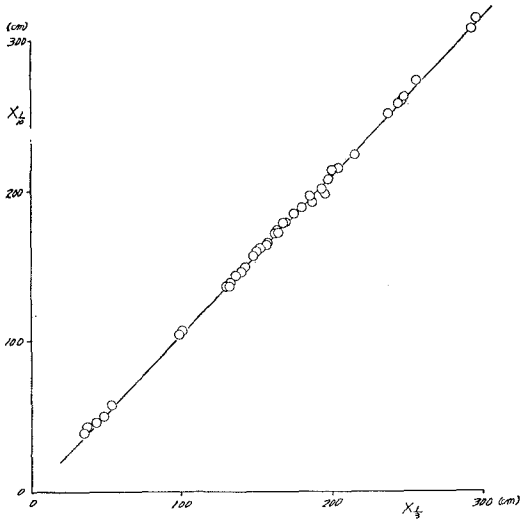
$$K_2 = X_{1/3} / X_{\text{mean}} = 1.134$$

となる。また、有義潮位 $X_{1/3}$ とモードの潮位 X_0 の関

係は、おおよそ $X_{1/3} \div 1.5 X_0$ で与えられる。干潮面の分布曲線からえられる X'_{mean} , $X'_{1/3}$, $X'_{1/10}$ の関係もこれらとほぼ同様である。

6. 結 語

両端有限でつり鐘状の分布をする潮位の分布は、実用的には、ピアソンⅠ型分布曲線で十分満足できる結果がえられる。したがって、潮位の分布をピアソンⅠ型分布曲線にあてはめることができれば、いま、モードの潮位以上の潮位分布を満潮面の分布とし、モードの潮位以下の潮位分布を干潮面の分布とすると、満潮面の分布曲線および干潮面の分布曲線は、ピアソンⅠ型分布曲線式を微分した式で与えられることになる。

図-5 $X_{1/3}$ と $X_{1/10}$ の関係

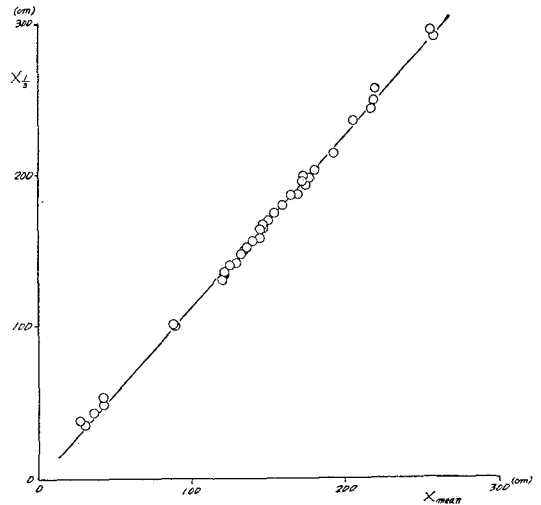
このように、潮位の分布およびその満潮面、干潮面の分布が与えられると、それぞれの分布曲線から超過確率に応じた潮位が推定されよう。たとえば、表-2 に求められた計画潮位 $X_{1/10}$ 、 $X_{1/3}$ 、 X_{mean} および X'_{mean} 、 $X'_{1/3}$ 、 $X'_{1/10}$ は、それぞれ、満潮面の超過確率 0.05, 0.167, 0.5 と干潮面の超過確率 0.5, 0.167, 0.05 から求められる潮位であり、また、 X_0 は、潮位の最多頻度の潮位である。こうして求められた潮位は、統計的に意義のある計画潮位であると考えられる。

また、図-5.6 に示されているように、日本沿岸の潮位の変動は、44港において、有義潮位 $X_{1/3}$ と最大 1/10 平均満潮面 $X_{1/10}$ 、平均満潮面 X_{mean} などとの関係は、

$$X_{1/10}/X_{1/3}=1.063$$

$$X_{1/3}/X_{\text{mean}}=1.134$$

となり、これらの計画潮位は、統計的な代表潮位として与えられると思う。

図-6 $X_{1/3}$ と X_{mean} の関係

以上のように、潮位の変動を統計的に取り扱えるものと仮定して、潮位の分布をピアソン I 型分布曲線にあてはめ、その分布の超過確率に応じた計画潮位をわが国の沿岸44港の潮位データから求めたが、これらの計画潮位は、かなり統計的な意味をもった値であり、これらの値を設計値として使うことにより、かなり合理的で、かつ経済的な設計が行なえるものと思われる。

参考文献

- 1) 久宝雅史・竹沢三雄：海岸構造物の設計基準水面について、第11回海岸工学講演会講演集，昭和39年11月
- 2) 海上保安庁編：潮汐表
- 3) 気象庁編：潮位表
- 4) 佐藤良一郎：数理統計学
- 5) 久宝雅史・竹沢三雄：潮位のピアソン I 型分布について 第24回土木学会年次学術講演会講演概要，昭和44年9月
- 6) 久宝雅史・竹沢三雄・天竺智雄：潮位の頻度分布に関する一考察，第23回土木学会年次学術講演会講演概要，昭和43年10月