

海岸構造物の設計基準水面について

久 宝 保*・竹 沢 三 雄**

1. 概 説

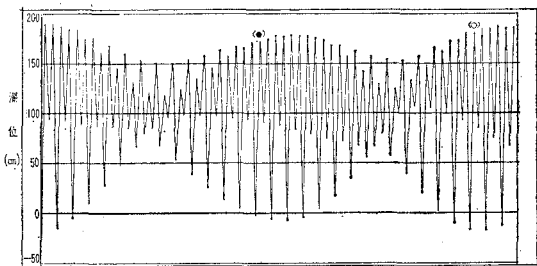
海岸構造物のうち、海岸堤防および海岸護岸の天端高さの設計にあたり、静水面および波高の推定を行なわねばならない。静水面は、朔望平均満潮位に、気圧低下による水面上昇高、および風による吹き寄せ高が合算されて定められていることが多い。その水面に波浪の高さおよび波のはいり高などを考慮して、海岸堤防や海岸護岸の天端高が設計されている。さて、ここで問題になるのは朔望平均満潮位を基準とする意義がまず考えられる。潮汐の変化は、確率的変量とは認められないが、これを仮りに統計的な変量として取り扱うことが許されるものとする、朔望平均満潮位の生ずる1年間内の確率が与えられる。その確率量のもつ数値的な意義があれば、朔望平均満潮位を設計に用いる根拠になる。しかし、果たしてどうかという点について検討しなければならない。つぎに、その意義に普偏性がなければ、潮位と波高の n 倍との和が、ある確率量において、最大になる値を推定したほうが、合理的である。

潮汐の変化は、単なる確率的変量ではなく、時間的な取り扱いをしなければならないばかりでなく、波浪の大きいものは、台風期に生ずるといふ、時系列的な考察がなされなければ、若干の矛盾が、理論的に生ずるけれども、一応、海岸構造物を経済的に設計する参考資料になるものと考えて、ここに報告する次第である。

2. 潮位の分布曲線

前述のように潮位は確率変量とは認められにくい、これをある変量として、それが生ずる度数に関する分布

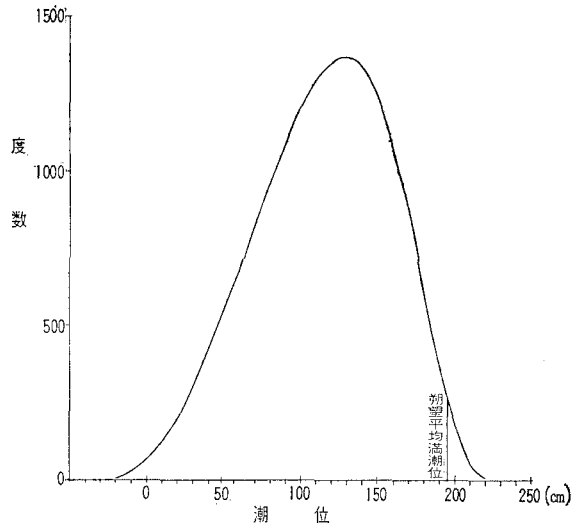
図一 分布曲線の求め方



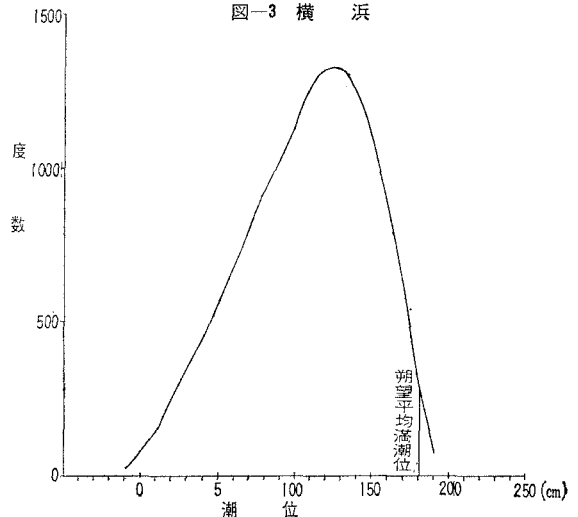
曲線を、前述の潮汐表より求めてみた。それには、たとえば、昭和 39 年の 1 月 1 日より同じく 31 日までの東京湾（築地）の満潮位および干潮位を、等間隔にプロットし、それを直線で結び、潮位 10 cm おきにその生じた度数を、各月ごとに求め、これを 1 年間合計して求めることにした。

このようにして求めた分布曲線のヒストグラムを画き、それを曲線で示すと、図一2~13 のとおりである。

図一2 東京（築地）



図一3 横浜



* 正会員 工博 日本大学教授 理工学部
** 学生会員 日本大学大学院学生

図-4 宮 古

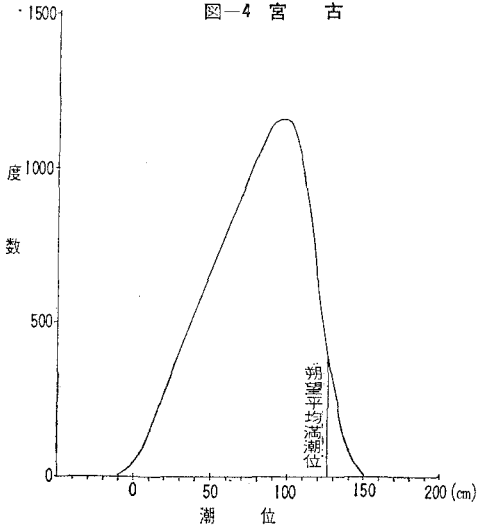


図-5 名古屋

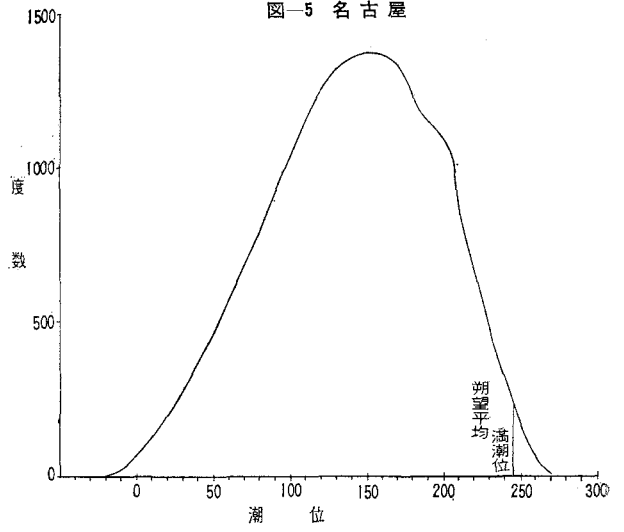


図-6 神 戸

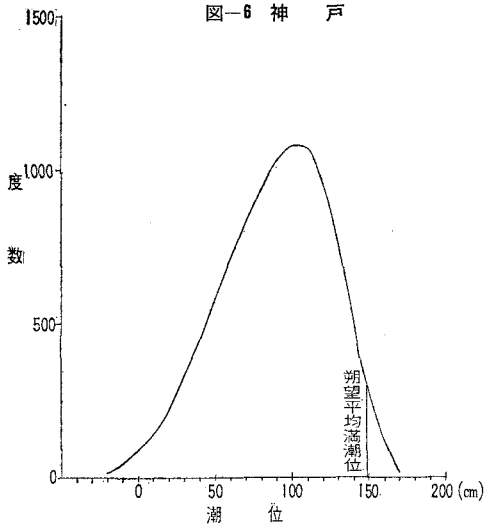


図-7 姫路 (飾磨)

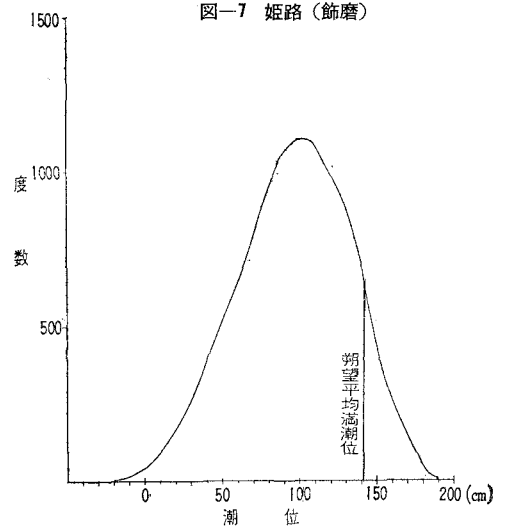


図-8 宇 野

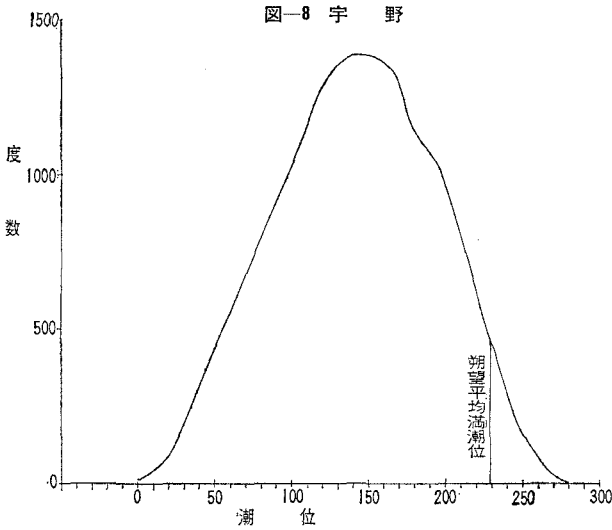
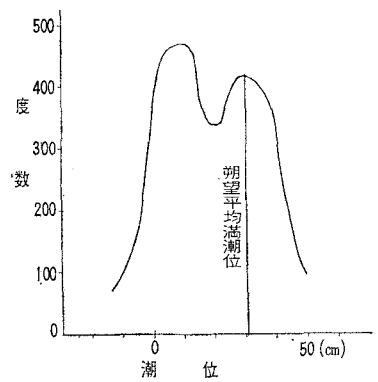
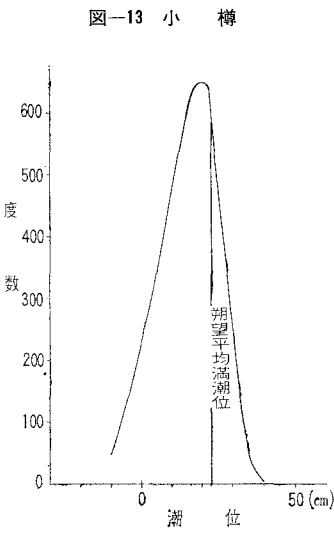
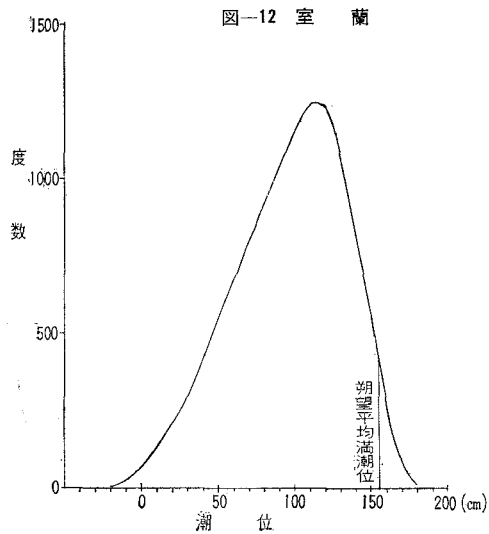
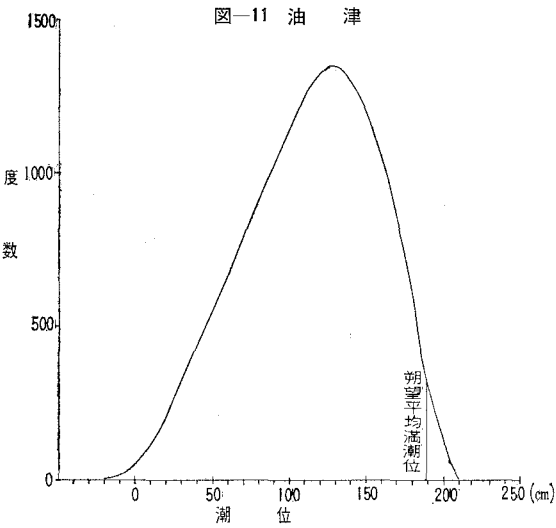
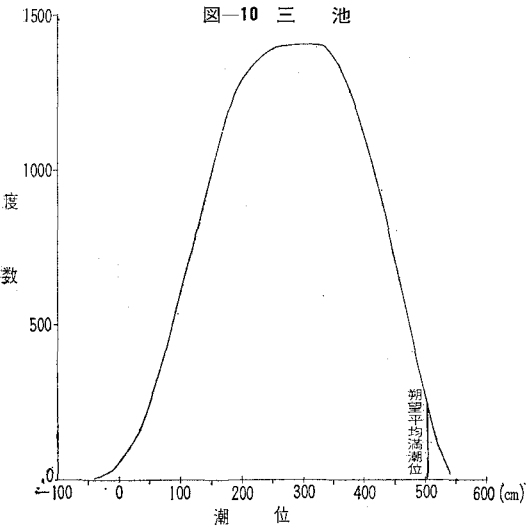


図-9 舞 鶴





またその度数に関して、表-1~12 のような値を得た。
なお期望平均満潮面は、その潮位を潮汐表より求め、期望日数の平均値によって求めた。

表-1 東京 (築地)

階 級 値 (cm)	度 数	超過確率	階 級 値 (cm)	度 数	超過確率
-20	1	0.9999	100	1 148	0.5984
-10	16	0.9990	110	1 262	0.5178
0	60	0.9952	120	1 331	0.4327
10	118	0.9877	130	1 351	0.3464
20	203	0.9747	140	1 305	0.2630
30	328	0.9538	150	1 197	0.1865
40	435	0.9260	160	1 040	0.1201
50	553	0.8907	170	841	0.0664
60	671	0.8479	180	589	0.0288
70	812	0.7960	190	308	0.0091
80	921	0.7372	200	129	0.0009
90	1 024	0.6717	210	2	0.0008

期望平均満潮位 189.2 cm 春秋分大潮満潮位 202.5 cm

表-2 横 浜

階 級 値 (cm)	度 数	超過確率	階 級 値 (cm)	度 数	超過確率
-10	22	0.9985	100	1 138	0.5577
0	81	0.9930	110	1 262	0.4712
10	139	0.9835	120	1 329	0.3800
20	253	0.9662	130	1 321	0.2893
30	348	0.9423	140	1 234	0.2047
40	446	0.9117	150	1 108	0.1287
50	580	0.8719	160	885	0.0679
60	686	0.8249	170	603	0.0266
70	813	0.7691	180	301	0.0060
80	922	0.7059	190	77	0.0007
90	1 021	0.6358			

期望平均満潮位 181.4 cm 春秋分大潮満潮位 188.5 cm

表-3 宮 古

階級値 (cm)	度 数	超過確率	階級値 (cm)	度 数	超過確率
-10	2	0.9998	80	1 033	0.4700
0	57	0.9937	90	1 148	0.3446
10	151	0.9772	100	1 157	0.2183
20	278	0.9469	110	1 002	0.1090
30	408	0.9024	120	606	0.0428
40	546	0.8428	130	303	0.0098
50	667	0.7700	140	81	0.0054
60	800	0.6827	150	1	0.0053
70	916	0.5827			

期望平均満潮位 127.3 cm 春秋分大潮満潮位 135.0 cm

表-4 名古屋

階級値 (cm)	度 数	超過確率	階級値 (cm)	度 数	超過確率
-20	1	0.9999	130	1 324	0.5516
-10	24	0.9989	140	1 362	0.4858
0	70	0.9955	150	1 381	0.4192
10	112	0.9901	160	1 362	0.3534
20	200	0.9805	170	1 332	0.2891
30	281	0.9669	180	1 238	0.2294
40	366	0.9493	190	1 151	0.1738
50	474	0.9264	200	1 010	0.1251
60	574	0.8987	210	860	0.0836
70	682	0.8658	220	694	0.0501
80	792	0.8276	230	477	0.0271
90	932	0.7826	240	311	0.0121
100	1 041	0.7324	250	165	0.0042
110	1 163	0.6763	260	69	0.0009
120	1 260	0.6155	270	2	0.0008

期望平均満潮位 245.2 cm 春秋分大潮満潮位 256.0 cm

表-5 神 戸

階級値 (cm)	度 数	超過確率	階級値 (cm)	度 数	超過確率
-20	14	0.9987	80	928	0.5755
-10	41	0.9947	90	1 029	0.4741
0	90	0.9859	100	1 077	0.3679
10	134	0.9727	110	1 073	0.2621
20	227	0.9503	120	959	0.1675
30	333	0.9175	130	754	0.0932
40	435	0.8747	140	499	0.0440
50	583	0.8172	150	291	0.0154
60	705	0.7477	160	128	0.0028
70	819	0.6670	170	19	0.0010

期望平均満潮位 149.3 cm 春秋分大潮満潮位 169.0 cm

表-6 姫路(飾磨)

階級値 (cm)	度 数	超過確率	階級値 (cm)	度 数	超過確率
-20	2	0.9998	90	1 062	0.5373
-10	14	0.9986	100	1 110	0.4323
0	39	0.9949	110	1 078	0.3306
10	100	0.9855	120	981	0.2379
20	162	0.9703	130	879	0.1549
30	252	0.9465	140	709	0.0879
40	396	0.9091	150	448	0.0455
50	499	0.8620	160	277	0.0241
60	647	0.8009	170	145	0.0105
70	790	0.7262	180	41	0.0066
80	937	0.6377	190	11	0.0057

期望平均満潮位 141.7 cm 春秋分大潮満潮位 180.5 cm

表-7 宇 野

階級値 (cm)	度 数	超過確率	階級値 (cm)	度 数	超過確率
0	15	0.9993	150	1 388	0.4197
10	45	0.9971	160	1 366	0.3515
20	94	0.9924	170	1 311	0.2860
30	205	0.9822	180	1 137	0.2292
40	281	0.9692	190	1 092	0.1749
50	447	0.9459	200	961	0.1266
60	546	0.9186	210	816	0.0859
70	678	0.8858	220	647	0.0536
80	805	0.8446	230	474	0.0299
90	911	0.7991	240	312	0.0144
100	1 019	0.7472	250	167	0.0061
110	1 160	0.6903	260	83	0.0020
120	1 283	0.6262	270	25	0.0008
130	1 359	0.5583	280	2	0.0007
140	1 387	0.4890			

期望平均満潮位 229.9 cm 春秋分大潮満潮位 252.0 cm

表-8 舞 鶴

階級値 (cm)	度 数	超過確率	階級値 (cm)	度 数	超過確率
-10	97	0.9542	30	415	0.2017
0	366	0.7806	40	333	0.0437
10	468	0.5585	50	89	0.0017
20	337	0.3986			

期望平均満潮位 30.6 cm 春秋分大潮満潮位 36.5 cm

表-9 三 池

階級値 (cm)	度 数	超過確率	階級値 (cm)	度 数	超過確率
-40	5	0.9999	260	1 401	0.5433
-30	8	0.9997	270	1 405	0.5135
-20	20	0.9993	280	1 407	0.4837
-10	30	0.9987	290	1 407	0.4539
0	61	0.9974	300	1 407	0.4241
10	84	0.9957	310	1 407	0.3943
20	113	0.9933	320	1 407	0.3645
30	148	0.9902	330	1 403	0.3348
40	181	0.9863	340	1 389	0.3054
50	245	0.9812	350	1 364	0.2765
60	329	0.9742	360	1 324	0.2485
70	407	0.9656	370	1 281	0.2213
80	452	0.9560	380	1 223	0.1954
90	546	0.9445	390	1 154	0.1710
100	614	0.9315	400	1 098	0.1477
110	684	0.9170	410	1 027	0.1260
120	747	0.9012	420	951	0.1059
130	827	0.8837	430	892	0.0870
140	915	0.8643	440	799	0.0700
150	988	0.8434	450	721	0.0548
160	1 072	0.8207	460	620	0.0417
170	1 147	0.7964	470	533	0.0304
180	1 192	0.7712	480	438	0.0211
190	1 247	0.7446	490	341	0.0139
200	1 292	0.7173	500	258	0.0084
210	1 318	0.6894	510	182	0.0046
220	1 351	0.6608	520	109	0.0023
230	1 367	0.6318	530	64	0.0009
240	1 386	0.6025	540	19	0.0007
250	1 395	0.5729			

期望平均満潮位 501.7 cm 春秋分大潮満潮位 532.0 cm

表—10 油 津

階級値 (cm)	度 数	超過確率	階級値 (cm)	度 数	超過確率
-20	3	0.9998	110	1302	0.5202
-10	21	0.9986	120	1358	0.4362
0	73	0.9941	130	1372	0.3514
10	119	0.9868	140	1330	0.2692
20	200	0.9745	150	1222	0.1936
30	318	0.9548	160	1058	0.1282
40	416	0.9299	170	852	0.0756
50	558	0.8964	180	600	0.0385
60	676	0.8547	190	351	0.0168
70	838	0.8029	200	177	0.0059
80	964	0.7433	210	52	0.0028
90	1098	0.6754	220	2	0.0027
100	1210	0.6006			

朔望平均満潮位 195.4 cm 春秋分大潮満潮位 210.0 cm

表—11 室 蘭

階級値 (cm)	度 数	超過確率	階級値 (cm)	度 数	超過確率
-20	6	0.9995	90	1032	0.5581
-10	24	0.9975	100	1161	0.4582
0	62	0.9922	110	1249	0.3507
10	130	0.9811	120	1231	0.2448
20	209	0.9631	130	1071	0.1526
30	308	0.9367	140	823	0.0818
40	424	0.9006	150	555	0.0341
50	549	0.8534	160	284	0.0097
60	684	0.7946	170	85	0.0028
70	795	0.7262	180	13	0.0017
80	921	0.6469			

朔望平均満潮位 155.8 cm 春秋分大潮満潮位 171.5 cm

表—12 小 樽

階級値 (cm)	度 数	超過確率	階級値 (cm)	度 数	超過確率
-10	45	0.9729	20	649	0.1517
0	234	0.8307	30	245	0.0028
10	467	0.5466	40	2	0.0019

朔望平均満潮位 22.9 cm 春秋分大潮満潮位 21.5 cm

これらの図表より、まず、度数分布曲線が、場所によって違うことが明白である。

3. 朔望平均満潮位に関する考察

かりに、潮位を確率変量とすると、朔望平均満潮位および春秋分大潮満潮位の生ずる超過確率を求めると、表—13 のとおりである。

表—13 超 過 確 率

地 名	朔望平均満潮位	春秋分大潮満潮位	左の値の比
東 京	0.0095	0.0009	10.56
横 浜	0.0060	0.0010	6.00
宮 古	0.0150	0.0070	2.14
名 古 屋	0.0100	0.0010	10.00
神 戸	0.0150	0.0010	15.00
姫 路	0.0260	0.0066	3.94
宇 野	0.0299	0.0060	4.98
舞 鶴*	0.2017	0.1200	1.68
三 池	0.0080	0.0009	8.89
油 津	0.0080	0.0028	2.86
室 蘭	0.0155	0.0025	6.20
小 樽*	0.1500	0.1520	0.99

ただし*は日本海に面しているので、これを考えないことにする。理論的には、この朔望平均満潮位の超過確率が一定ならば、その意義を見出すことが容易である。しかし、日本海とそのほかの海洋とで値がきわめて相違していることより、地形的な要素が、この超過確率の値にかなりの相違を生ずるものといえる。しかし、日本海を除いて、いまその値を平均すると、

朔望平均満潮位の平均超過確率 0.01429

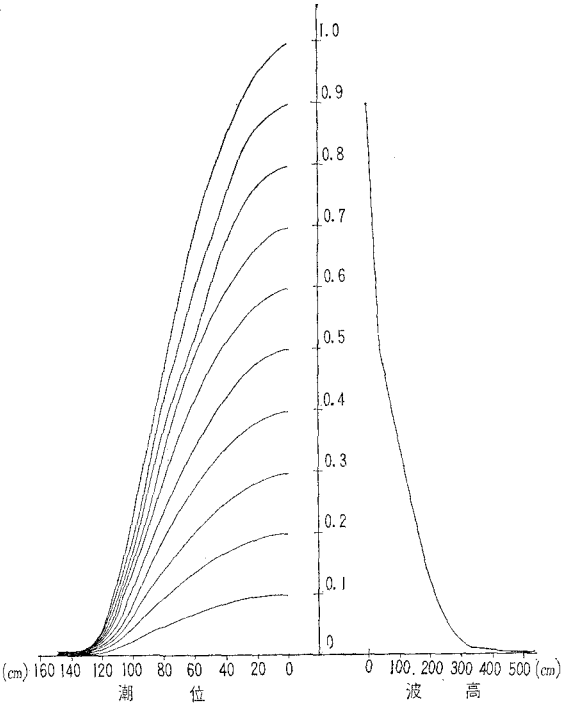
春秋分大潮満潮位の平均超過確率 0.00297

となり、もしもこれを一定とするならば、朔望平均満潮位を設計水面の基準にすることが、生起の確率上意義を有することになる。しかし、表—13 とこの平均値との間のバラツキがきわめて大きいので、朔望平均満潮位を設計の基準に用いる意義が見出しにくい。春秋分大潮満潮位に関しても、全く同様である。

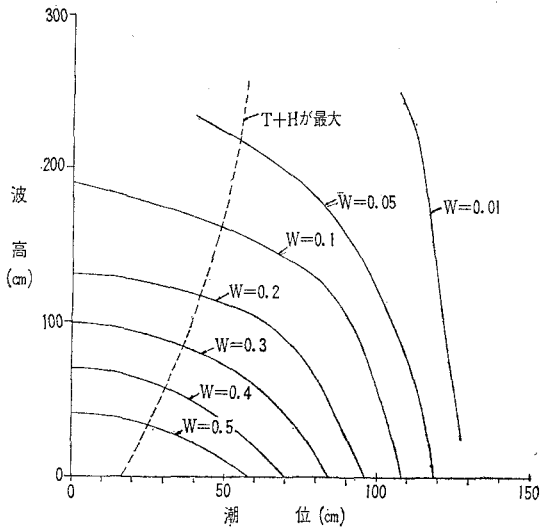
4. 波浪高の度数分布との組み合わせについて

1 年に 1 度は生ずる波浪の高さを H とすると、その H の生ずる超過確率曲線がえられる。たとえば、図—14 の右である。その左側のもっとも上の曲率は、前に示した潮位の累積度数百分率曲線である。その他の左側の曲線は、その潮位の累積曲線に超過確率の数 0.9, 0.8, …… , 0.1 を乗じた曲線を示す。このようにしておけば、ある波浪高 H と潮位 T との生ずる確率が算定できる。たとえば、その図で、波高 1.50 m で潮位 60 cm とすると超過確率が 0.14 となる。すなわち、波高 1.50 m

図—14 潮位と波浪高との超過確率



図一15 潮位と波高との合成超過確率



と潮位 60 cm とを取ると、その超過確率 0.14 が求められる。

したがって、これをかきあらためると、図一15 のような曲線群が、波高 H と潮位 T とによって与えられる。ただし、潮位と波高とは全く独立した現象で、相関しないものとする。すなわち、波浪は深水波として取扱ひ、水深には無関係であるとする。

図一15 により、ある基準潮位を T とし、波高を H とすると、その生起の超過確率が求められる。たとえば、波高 $H=120$ cm、潮位 35 cm とすると、その超過確率は 0.2 となる。逆に超過確率 0.2 を一定として、 T と H との関係を求めると、図一15 より

$T=95$ cm,	$H=23$ cm,	$T+H=118$ cm
80	59	139
40	119	159
20	127	149

となり、 $T+H=159$ cm、 $T=40$ cm、 $H=119$ cm が、 $T+H$ の最大値を与えることになる。ゆえに、潮位と波高との合計の確率を与えると、その最大値を与えることになる。同様に、 $T+H$ が最大のような点を求めると、その図一15 の破線のような曲線がえられる。この曲線は $(T+H)$ の最大を与える曲線になるが、同様に、 $(T+nH)$ をその水位上昇の基準高とすると、これと同様な曲線が求められる。これと、超過確率との交点より、その確率を生ずる最高基準水位と、それに応ずる潮位と波高とが与えられることになる。

ゆえに、期望平均満潮面を基準とする従来の考え方よりも、ある超過確率を与える $(T+nH)$ の最大の水位を考える方が、はるかに合理的であり、安全側であると考えられる。

5. 結 論

なお、これらの理論的な根拠について検討中であるが、以上の結論として、まず設計基準として、超過確率と、その波浪高の度数分布曲線と、さらに潮候曲線とが与えられれば、その超過確率を生ずる最大水位が求められ、それに応ずる潮位および波高が与えられることになる。

しかし、これらは、1 年間内の確率に関する統計的な方法について述べたもので、50 年確率または 100 年確率の水位、その際の吹き寄せ高、気象潮等について研究を進めるつもりである。また、海岸構造物には、浅水波または砕波が作用することが多く、その際の水深と波高との相関などについて、関連的に考慮することについても、なお検討中である。

参 考 文 献

- 1) 海上保安庁：「潮汐表，第1巻」，昭和 39 年。
- 2) 佐藤良一郎：「数理統計学概説」