

水位と波高の重ね合せに関する統計的研究

久 宝 雅 史* ・ 竹 沢 三 雄**
天 埜 智 雄***・牧 野 勝 典***

1. 概 説

潮位と波高の観測値から、その波峯水位を求めることは、海岸構造物の規模を決定するに必要な条件である。著者らは、現在海岸構造物を経済的かつ合理的に設計するための設計水位を統計的に処理する方法を研究中である。

設計水位を支配する要素は、おもに潮汐および波浪などの変動水位であり、これらの現象を、いままではそれぞれ独立変数と仮定し、それらのあいだに存在する相関を無視してきた^{1)・2)}。

本論文は、水理実験により波底位、波高および波峯位を測定し、著者らの方法により、波底位に波高を重ね合わせ、実測の波峯位とを比較検討して相関する部分に関する処理方法について検討を試みた。

なお、大樹漁港に関しても同様に、潮位、波高、実際の波峯位に関して、その方法を検討したので、それらについてここに報告する。

実験に用いた水槽は全長約 160m の大型水槽で、造波機はヒンジが 2 組のフラッター式のものを使用した。波底位、波高および波峯位は造波機の造波板前面より 80 m と 130 m 離れた 2 つの地点のものを抵抗線式波高計でペン書きオシロに同時に記録させ、その 2 点を通して 100 波について、それぞれ対応する波底位、波峯位

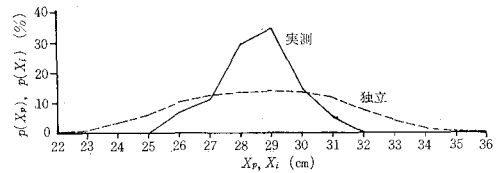
の値をオシログラフから読みとり、それぞれの波高を算出した。フラッター式造波機のストロークは、39 cm、周期は 3.7, 3.15, 2.52, 2.01, 1.77 (s) の 5 種について計測し、水槽の水深は 71.5 cm で一定とした（これらの造波機能の詳細については、本講演会で久宝らが報告する）。

2. 波底位と波高の重ね合わせ

オシログラフから読みとった波底位 x_1 、および波高 x_2 をそれぞれ独立変数と仮定し、われわれが以前に案出した頻度の重ね合わせの方法¹⁾によって求めた波峯水位 X_i とオシログラフから直接読みとったそれぞれに対応する波峯水位 X_p の比較の一例を示すと表一および図一のとおりである。

この表一および図一から x_1 , x_2 を独立変数と仮定して重ね合わせた場合の波峯水位 X_i と実際に生じる波峯水位 X_p の X_{most} (最多水位) の点が一致するこ

図一 波峯水位 X_p と X_i の比較図



表一 X_i と X_p の 比 較

	x_1						x_2								X_i	$P(X_i)$ (%)	X_p	$P(X_p)$ (%)
	11	25	28	25	9	2	1	14	14	32	18	12	6	3				
$X=23\sim$	11						1								12	0.86	0	0
24~	11	25					1	14							51	3.64	0	0
25~	11	25	28				1	14	14						93	6.65	0	0
26~	11	25	28	25			1	14	14	32					150	10.70	7	7.00
27~	11	25	28	25	9		1	14	14	32	18				177	12.63	11	11.00
28~	11	25	28	25	9	2	1	14	14	32	18	12			191	13.63	29	29.00
29~	11	25	28	25	9	2		14	14	32	18	12	6		196	14.00	34	34.00
30~	11	25	28	25	9	2			14	32	18	12	6	3	185	13.20	14	14.00
31~		25	28	25	9	2				32	18	12	6	3	160	11.41	5	5.00
32~			28	25	9	2					18	12	6	3	103	7.35	0	0
33~				25	9	2						12	6	3	57	4.07	0	0
34~					9	2							6	3	20	1.43	0	0
35~						2								3	5	0.36	0	0

とが明白となった。しかし、 X_i , X_p それぞれの生起頻度分布が、 X_{most} , X_{min} , X_{max} などの点で差が生じてくるが、このちがいは、波峯水位 X を支配する各種の

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

図-6

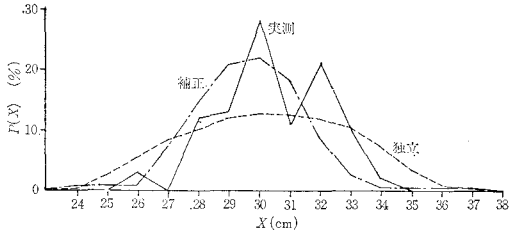


図-7

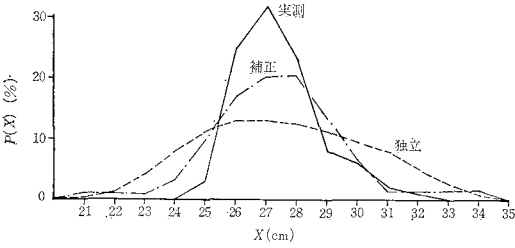


表-3 P1-3.7

P1-3.7 (cm)	$P(X_i)$ (%)	$P(X_p)$ (%)	$P(X_c)$ (%)	$P(X_p)/P(X_i)$	$P(X_p)/P(X_c)$
X=23~	0.86	0	2.69	0	0
24~	3.64	0	2.69	0	0
25~	6.65	0	2.69	0	0
26~	10.70	7.00	2.69	0.654	2.602
27~	12.63	11.00	11.21	0.871	0.981
28~	13.63	29.00	17.49	2.127	1.658
29~	14.00	34.00	24.66	2.428	1.378
30~	13.20	14.00	17.94	1.060	0.780
31~	11.41	5.00	10.76	0.438	0.464
32~	7.35	0	3.81	0	0
33~	4.07	0	1.12	0	0
34~	1.43	0	1.12	0	0
35~	0.36	0	1.12	0	0

表-4 P2-3.7

P2-3.7 (cm)	$P(X_i)$ (%)	$P(X_p)$ (%)	$P(X_c)$ (%)	$P(X_p)/P(X_i)$	$P(X_p)/P(X_c)$
X=17~	2.00	0	4.45	0	0
18~	7.20	0	4.45	0	0
19~	13.90	13.00	4.45	0.935	2.921
20~	17.50	19.00	14.92	1.085	1.273
21~	19.30	30.00	26.73	1.554	1.122
22~	18.10	20.00	25.39	1.104	0.787
23~	13.90	14.00	15.59	1.007	0.898
24~	7.20	4.00	2.00	0.555	2.000
25~	0.90	0	2.00	0	0

表-5 P1-3.15

P1-3.15 (cm)	$P(X_i)$ (%)	$P(X_p)$ (%)	$P(X_c)$ (%)	$P(X_p)/P(X_i)$	$P(X_p)/P(X_c)$
X=24~	0.25	0	0.71	0	0
25~	3.00	0	0.71	0	0
26~	7.50	0	0.71	0	0
27~	12.32	0	0.71	0	0
28~	15.09	12.00	8.33	0.795	1.440
29~	15.91	28.00	22.61	1.759	1.238
30~	16.32	36.00	29.51	2.205	1.219
31~	14.65	21.00	23.32	1.433	0.900
32~	9.75	3.00	8.09	0.307	0.370
33~	3.50	0	2.62	0	0
34~	0.92	0	2.62	0	0

図-8

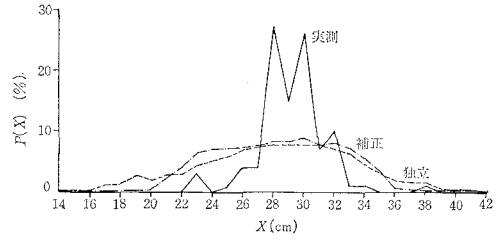


表-6 P2-3.15

P2-3.15 (cm)	$P(X_i)$ (%)	$P(X_p)$ (%)	$P(X_c)$ (%)	$P(X_p)/P(X_i)$	$P(X_p)/P(X_c)$
X=19~	0.46	0	1.15	0	0
20~	1.62	0	1.15	0	0
21~	7.16	0	1.15	0	0
22~	12.39	1.00	3.65	0.080	0.273
23~	14.08	7.00	16.54	0.497	0.423
24~	15.00	39.00	25.19	0.600	1.548
25~	14.77	32.00	22.11	2.166	1.447
26~	13.08	19.00	19.23	1.452	0.988
27~	10.16	2.00	7.50	0.196	0.266
28~	7.93	0	0.77	0	0
29~	3.08	0	0.77	0	0
30~	0.31	0	0.77	0	0

表-7 P1-2.52

P1-2.52 (cm)	$P(X_i)$ (%)	$P(X_p)$ (%)	$P(X_c)$ (%)	$P(X_p)/P(X_i)$	$P(X_p)/P(X_c)$
X=24~	0.27	0	0.77	0	0
25~	2.60	0	0.77	0	0
26~	5.66	3.00	0.77	0.530	3.896
27~	8.48	0	7.35	0	0
28~	10.25	12.00	14.70	1.170	0.816
29~	12.07	13.00	20.89	1.077	0.622
30~	12.88	28.00	22.05	2.173	1.269
31~	12.67	11.00	18.37	0.868	0.598
32~	12.06	21.00	9.09	1.741	2.310
33~	10.66	10.00	2.90	0.938	3.448
34~	7.60	2.00	0.58	0.263	3.448
35~	3.53	0	0.58	0	0
36~	1.07	0	0.58	0	0
37~	0.20	0	0.58	0	0

表-8 P2-2.52

P2-2.52 (cm)	$P(X_i)$ (%)	$P(X_p)$ (%)	$P(X_c)$ (%)	$P(X_p)/P(X_i)$	$P(X_p)/P(X_c)$
X=21~	0.33	0	0.94	0	0
22~	1.40	0	0.94	0	0
23~	4.33	0	0.94	0	0
24~	8.27	0	3.39	0	0
25~	11.38	3.00	9.98	0.264	0.301
26~	12.97	25.00	17.32	1.928	1.443
27~	13.00	32.00	20.52	2.462	1.559
28~	12.40	23.00	20.52	1.855	1.121
29~	11.20	8.00	13.37	0.714	0.596
30~	9.34	6.00	6.59	0.642	0.910
31~	7.74	2.00	1.51	0.258	1.325
32~	4.87	1.00	1.51	0.207	0.662
33~	2.40	0	1.51	0	0
34~	0.53	0	1.51	0	0

図-9

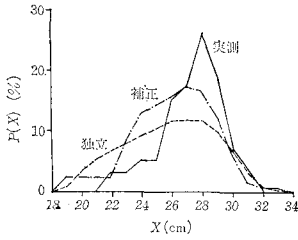


図-10

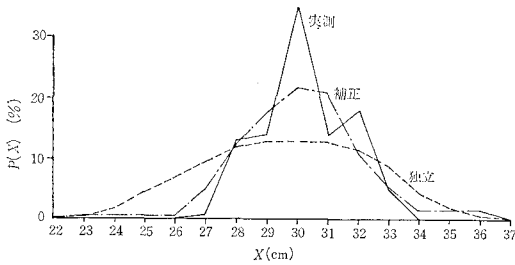


図-11

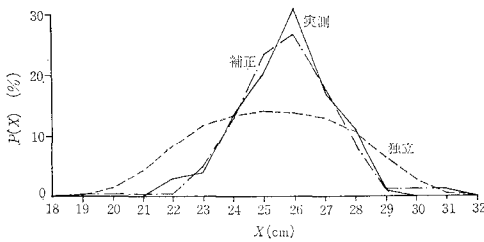


表-9 P1-2.01

P1-2.01 (cm)	$P(X_i)$ (%)	$P(X_p)$ (%)	$P(X_c)$ (%)	$\frac{P(X_p)}{ P(X_i) }$	$\frac{P(X_p)}{ P(X_c) }$
X=15~	0.08	0	0.07	0	0
16~	0.13	0	0	0	0
17~	1.13	0	0.07	0	0
18~	1.33	0	0	0	0
19~	2.68	0	0.14	0	0
20~	1.75	0	0.21	0	0
21~	2.96	0	2.07	0	0
22~	2.96	0	3.99	0	0
23~	4.37	3.00	6.55	0.686	0.458
24~	5.16	0	7.05	0	0
25~	5.80	1.00	7.13	0.172	0.140
26~	6.88	4.00	7.27	0.581	0.550
27~	7.21	4.00	7.48	0.554	0.534
28~	7.76	27.00	8.12	3.479	3.325
29~	7.84	15.00	8.20	1.913	1.829
30~	7.87	26.00	8.91	3.303	2.918
31~	7.76	7.00	7.77	0.902	0.900
32~	7.13	10.00	8.12	1.402	1.231
33~	6.42	1.00	7.13	0.155	0.140
34~	4.42	1.00	5.35	0.226	0.186
35~	2.92	0	3.28	0	0
36~	1.78	0	0.64	0	0
37~	1.54	0	0.21	0	0
38~	1.62	1	0.14	0.617	0.714
39~	0.29	0	0	0	0
40~	0.13	0	0	0	0
41~	0.08	0	0.07	0	0

表-10 P2-2.01

P2-2.01 (cm)	$P(X_i)$ (%)	$P(X_p)$ (%)	$P(X_c)$ (%)	$\frac{P(X_p)}{ P(X_i) }$	$\frac{P(X_p)}{ P(X_c) }$
X=19~	0.94	0	2.30	0	0
20~	3.56	0	2.30	0	0
21~	5.69	0	2.30	0	0
22~	7.00	3.00	2.30	0.428	1.304
23~	8.08	3.00	8.14	0.371	0.368
24~	9.25	5.00	12.90	0.540	0.387
25~	10.06	5.00	15.36	0.497	0.325
26~	11.63	15.00	17.36	1.289	0.864
27~	11.69	17.00	16.28	1.454	1.044
28~	11.50	26.00	11.67	2.260	2.227
29~	9.89	19.00	6.14	1.920	3.094
30~	6.38	7.00	1.54	1.097	4.545
31~	2.94	0	0.46	0	0
32~	0.69	0	0.46	0	0
33~	0.13	0	0.46	0	0

表-11 P1-1.77

P1-1.77 (cm)	$P(X_i)$ (%)	$P(X_p)$ (%)	$P(X_c)$ (%)	$\frac{P(X_p)}{ P(X_i) }$	$\frac{P(X_p)}{ P(X_c) }$
X=23~	0.13	0	0.38	0	0
24~	1.73	0	0.38	0	0
25~	4.60	0	0.38	0	0
26~	6.94	0	0.38	0	0
27~	9.41	1.00	4.79	0.106	0.208
28~	11.85	13.00	12.25	1.097	1.061
29~	12.88	14.00	17.81	1.086	0.786
30~	12.93	35.00	21.83	2.706	1.603
31~	12.60	14.00	20.87	1.111	0.670
32~	11.52	18.00	11.11	1.562	1.620
33~	8.74	5.00	5.17	0.572	0.967
34~	4.26	0	1.53	0	0
35~	1.87	0	1.53	0	0
36~	0.53	0	1.53	0	0

表-12 P2-1.77

P2-1.77 (cm)	$P(X_i)$ (%)	$P(X_p)$ (%)	$P(X_c)$ (%)	$\frac{P(X_p)}{ P(X_i) }$	$\frac{P(X_p)}{ P(X_c) }$
X=19~	0.14	0	0.48	0	0
20~	1.43	0	0.48	0	0
21~	4.33	0	0.48	0	0
22~	8.36	3.00	0.48	0.342	6.250
23~	11.71	4.00	4.56	0.341	0.877
24~	13.20	13.00	13.22	0.984	0.983
25~	14.07	20.00	23.55	0.142	0.849
26~	13.79	31.00	26.91	2.248	1.151
27~	12.93	17.00	17.78	1.314	0.955
28~	10.57	11.00	8.41	1.040	1.307
29~	6.36	1.00	1.20	0.157	0.833
30~	2.63	0	1.20	0	0
31~	0.36	0	1.20	0	0

3. 潮位と波高の重ね合わせについて

北海道十勝海岸に位置する大樹漁港でえられた現地の資料にもとづき、潮位と波高の重ね合わせについて検討してみる。

前回の報告¹⁾では、1日最大潮位 x_1 と1日最大半波高 x_2 をそれぞれ独立変数と仮定して重ね合わせた波峯水位 X_i について論述した。

今回の報告では、半波高 x_2 が生じるときの同時潮位

x_1 を大樹に隣接する広尾の潮位を使用して、その波峯水位を X_p として、また、潮位と波高を独立変数と仮定して重ね合わせた波峯水位 X_i 、ならびに相關部分を補正した波峯水位 X_c の比較検討をした。ここに、 x_2 は、大樹港における 9 時あるいは 15 時の波高の大きいいずれかの半波高をとり、広尾の潮位 x_1 は釧路を標準港にとり、潮位表⁹⁾の算定式

$$x_1 = h' + (h_k - h_k')R$$

$$h_k = \frac{h_1 + h_2}{2} + \frac{h_1 - h_2}{2} \cos \left(\pi \frac{t}{T} \right)$$

より算出したものである。
ただし、

- x_1 : 任意時刻 t_0 における広尾の潮位
- h' : 広尾の平均潮位 (=0.9 m)
- h_k : 任意時刻 t_0 における釧路の潮位
- h_k' : 釧路の平均潮位 (=0.8 m)
- R : 広尾の潮高比改正数 (=0.98)
- h_1, t_1 : 任意時刻直前の満干潮位および潮時
- h_2, t_2 : 任意時刻直後の満干潮位および潮時
- t : $t_0 - t_1$
- T : $t_2 - t_1$

また、広尾の潮時改正数は釧路標準港に対して -0 hr 15 min である。

潮位と波高の現象は、前述の波底位と波高の現象と同じに見なすことは理論的に困難であるが、いまかりに、同じ現象と仮定して、重ね合わせの方法を現地資料に適用し、潮位と波高の重ね合わせ波峯水位を算定すると、

表-13 および 図-12 に示すように、 X_i , X_p , X_c が同じような傾向になる。

表-13, 図-12 によると、波底位と波高の重ね合わせた結果と同様に波峯水位 X_i , X_p および X_c が X_{most} の位置においてほぼ一致し、また X_{max} , X_{min} の点もほぼ X_i , X_c が X_p に近似する。

たとえば、 X_{most} にあたる水位が $X_i = 220$ cm, $X_p = 180$ cm, $X_c = 220$ cm であり、 X_{min} にあたる水位が $X_i = 40$ cm, $X_p = 60$ cm, $X_c = 40$ cm, X_{max} にあたる水位が $X_i = 520$ cm, $X_p = 460$ cm, $X_c = 520$ cm となる。

しかし、 X_{most} , X_{min} , X_{max} などの生じる確率を考

図-12

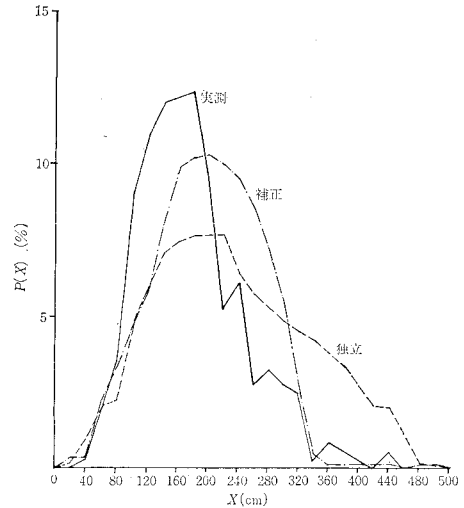


表-13

X (cm)	x_1									x_2															$P(X_i)$ (%)	$P(X_p)$ (%)	$P(X_c)$ (%)			
	6	18	30	53	62	96	80	16	4	7	57	71	65	47	32	20	14	15	10	10	5	6	4	0	1	1				
0~	6									7																		0.143	0	0.352
40~	6	18								7	57																	0.970	0.274	0.352
60~	6	18	30							7	57	71																2.083	1.918	2.193
80~	6	18	30	53						7	57	71	65															2.282	3.562	3.384
100~	6	18	30	53	62					7	57	71	65	47														4.575	9.042	4.656
120~	6	18	30	53	62	96				7	57	71	65	47	32													5.997	10.960	5.847
140~	6	18	30	53	62	96	80			7	57	71	65	47	32	20												7.100	12.056	8.040
160~	6	18	30	53	62	96	80	16		7	57	71	65	47	32	20	14											7.430	15.344	9.881
180~	6	18	30	53	62	96	80	16	4	7	57	71	65	47	32	20	14	15										7.640	12.330	10.151
200~	6	18	30	53	62	96	80	16	4		57	71	65	47	32	20	14	15	10									7.673	9.590	10.287
220~	6	18	30	53	62	96	80	16	4			71	65	47	32	20	14	15	10	10								7.673	5.206	9.989
240~	6	18	30	53	62	96	80	16	4				65	47	32	20	14	15	10	10	5							6.427	6.028	9.502
260~	6	18	30	53	62	96	80	16	4				47	32	20	14	15	10	10	5	6							5.777	2.740	8.554
280~	6	18	30	53	62	96	80	16	4					32	20	14	15	10	10	5	6	4						5.303	3.288	7.146
300~	0	18	30	53	62	96	80	16	4					20	14	15	10	10	5	6	4	0						4.884	2.740	5.414
320~	6	0	30	53	62	96	80	16	4						14	15	10	10	5	6	4	0	1					4.542	2.465	2.707
340~	6	18	0	53	62	96	80	16	4							15	10	10	5	6	4	0	1	1				4.265	0.274	0.568
360~		18	30	0	62	96	80	16	4									10	10	5	6	4	0	1	1			3.781	0.822	0.135
380~			30	53	0	96	80	16	4										10	5	6	4	0	1	1			3.373	0.548	0.135
400~				53	62	0	80	16	4											5	6	4	0	1	1			2.612	0.274	0.135
420~					62	96	0	16	4												6	4	0	1	1			2.094	0	0.135
440~						96	80	0	4													4	0	1	1			2.050	0.540	0.135
460~							80	16	0														0	1	1			1.080	0	0.027
480~								16	4															1	1			0.242	0	0.135
500~									4																1			0.044	0	0.135

えると、たとえば、 X_i と X_p では X_{most} の点で $P(X_i) = 7.673\%$, $P(x_p) = 15.344\%$ となり、 $P(X_p)/P(X_i) \div 2.0$ と、その頻度の差が大である。一方、 X_p と X_c の X_{most} の生起確率は $P(X_p) = 15.344\%$ に対し、 $P(X_c) = 10.287\%$ で $P(X_p)/P(X_c) \div 1.5$ となり、相関部分を補正すると、実際の波峯水位にかなり近似する。

このように、 X_{most} , X_{min} , X_{max} の水位が X_i , X_p , X_c でほぼ同じ水位になるが、それらが生じる確率に関しては、独立変数と仮定して重ね合わせた波峯水位 X_i よりも、相関部分を考えた波峯水位 X_c のほうがより合理的な波峯水位と考えられる。

5. 結 語

以上のように、頻度の重ね合わせによる波峯水位は、水位と波高を独立変数と仮定して重ね合わせた波峯水位と実際に生じる波峯水位の X_{most} , X_{min} , X_{max} の点がほぼ一致するが、それらの頻度の差が大きく生じる。これらの差は、周期や波形勾配などの時間的な制約による相関的な問題によるものと思われる。したがって、相関部分を補正した波峯水位 X_c は実際に生じる波峯水位 X_p に近似してくる。

同様に、潮位と波高を独立変数と仮定して重ね合わせた波峯水位 X_i のピーク頻度 X_{most} と、従属変数と仮定して相関部分を補正した波峯水位 X_c の X_{most} の位置は実例によると一致する。

また、従属変数とした潮位と波高の合成波峯水位を求める場合は、頻度階級数の多い方を斜め一列だけとり、それに応じた他の列を斜めにとって、表-2 のように算出すれば、相関部分が補正された頻度曲線ができ、 X_{most} の位置は独立変数とした場合の合成波峯水位 X_i の X_{most} に一致させればよい。 X_{max} の点については、 X_i の点を使用の方が合理的と考えられる。

このように、実測による波峯水位 X_p , 独立変数とした場合の波峯水位 X_i , 従属変数とした場合の波峯水位 X_c は、それぞれ X_{most} , X_{max} , X_{min} の点でおおよそ一致するが、とくに相関部分を補正した頻度曲線は、実際に生じる波峯水位の頻度曲線に近似する。しかし、それぞれ、 X_i , X_p , X_c の頻度曲線は、その地形、水深波形勾配といった海岸の複雑な要素に支配されるため、その一致性を見出すことは、はなはだ困難であるが、前回に報告した独立変数とした波峯水位よりも、かなり好結果が予想できよう。

さらに、実測による波峯水位の頻度に近似するように、相関部分の補正方法を検討中であり、これらについては、別の機会に報告したい。また、気象潮による水位変動を加味した場合についても、今後、検討したい。

参 考 文 献

- 1) 久宝・竹沢：“潮位と波高との確率値の重ね合せについて”，第 21 回土木学会年次学術講演会講演集。
- 2) 久宝・竹沢：“大樹漁港における波峯水位の確率値について”，第 13 回海岸工学講演会講演集。
- 3) 気象庁編：“潮位表”，1966 年。