

2 防波堤に働く砕波の圧力

大阪市立大学 正員 永井 莊七郎
 准員 八 欽 功
 准員 玉井 佐一
 小 木 正 道

1. 結言

防波堤などに激突する砕波は一般に極めて短い時間に非常に大きな圧力をおよぼすので、その実験および実測が困難であり、その資料が極めて少い。当実験室においては昭和28年度に先ず砕波の波圧計を作製し、31年度より本格的に防波堤などに働く砕波の圧力に関する実験を行っている。この実験の目的は、(1)一般的に水中構造物に働く砕波の圧力およびその鉛直分布を調べて、砕波の圧力の特性を知り、しかる後に、(2)各種形状および構造の防波堤に働く砕波の圧力を調べて、防波堤設計の指針を得ることである。

2 実験設備および実験方法

(1)実験設備 幅2m、長さ25m、深さ1mのフリーストリート水路の1端から種々な波を起し、他端に設けた垂直壁あるいは防波堤などの横型に砕波を衝突せしむ。沖波の波高は垂直壁あるいは構造物から1.50m前後沖合で、2.0mと2.5m間隔に設置した電気式波高計により電磁オシログラフに記録して讀取る。砕波の波圧は2個の抵抗線歪計型波圧計を用いて電磁オシログラフに記録して讀取った。この波圧計の受圧部は直至4cmで、5000サイクルのA.C.を送っているから、500サイクルまでの衝撃波は確実に測定できる。

図-1は実験装置の配置図、図-2は波圧測定装置を示す。

図-1(a) 実験装置図

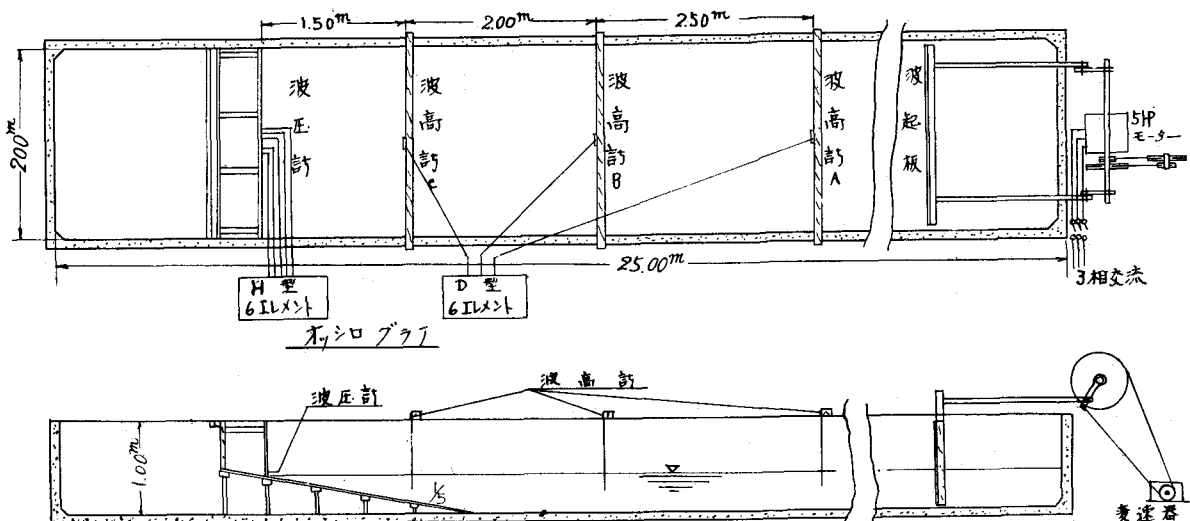
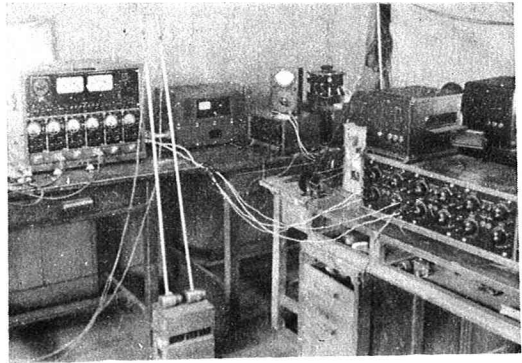
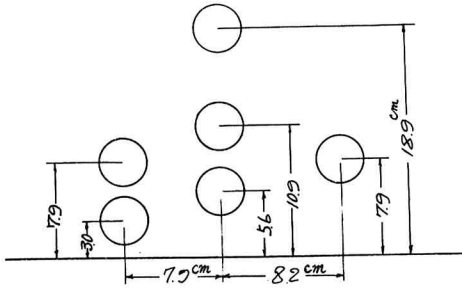


図-2 測定装置

図-1 (b) 波圧計配置図



(2) 実験方法

(a) 垂直壁に働く波圧の測定 板で $1/5$ 勾配の斜面を造り、水深 $h_0 = 40, 42.5$ および 44.9 cm において、周期 $T = 1.2 \text{ sec}, 1.6 \text{ sec}, 2.0 \text{ sec}$ の波を斜面に当て、各の波における砕波長と求めた。周期はもっと広範囲に変化させたが、 $1/5$ 勾配の斜面では $T = 1.2 \sim 2.0 \text{ sec}$ の範囲の波しか砕波せず、 $T < 1.2 \text{ sec}$ では波は初めから崩れてしまうので使用できなかった。

まず各場合の砕波長に垂直壁を立て、波圧およびその分布を調べ次に垂直壁を前後に移動させて波圧の変化を調べた。

(b) 混成堤型構造物に働く波圧の測定 混成堤のように下部を斜面とし、斜面の上に水平部を設け、その上に垂直壁を立て、垂直壁に働く波圧の変化を調べた。まず最初は、斜面の勾配を $1/2$ とし、水平部分を設けない場合に、各な水深および波について垂直壁に働く波圧を測り、次に水平部分を設け、その幅を $10, 20, 30$ cm に変化して同様の各種水深および波について波圧を測定し、水平部分の影響を調べた。

3. 実験結果

(1) 斜面上の垂直壁に働く波圧 水平底部の水深 $h_0 = 40, 42.5$ および 44.9 cm において、周期 $T = 1.2, 1.6, 2.0 \text{ sec}$ 、沖波の波高 $H_0 = 6 \sim 11$ cm の波を起し、 $1/5$ 勾配の斜面上で砕波させ、砕波長および砕波長の前後に立てた垂直壁に働く圧力を測定した。行った実験の種類およびその結果を示すと表-1 および 2 のようである。 $T = 2.0 \text{ sec}$ の波は $1/5$ 勾配の斜面では完全に砕波せず、水深 $h_0 = 42.5$ cm の場合に半ば砕波し、重複波との中波の状態を示したので、この場合のみを実験した。

表-2 の資料より、各場合の砕波および砕波と重複波との中波の波圧およびその分布を示すと図-3, 4 および 5 のようである。

表-1 実験の種類

周期 水深 h ₀	T = 1.2 sec				T = 1.6 sec				T = 2.0 sec
	6.6 cm	6.6 cm	3.0 cm	5.6 cm	4.6 cm	6.9 cm	5.6 cm	7.9 cm	5.6 cm
	砕波実験	砕波実験	後方に18 cm	後方に5 cm	砕波実験	砕波実験	前方に5 cm	前方に5 cm	砕波実験
40.0 cm	実験実施 砕波		実験実施 砕波						
42.6 cm		実験実施 砕波		実験実施 砕波	実験実施 砕波		実験実施 砕波		実験実施 砕波
44.9 cm						実験実施 砕波		実験実施 砕波	

表-2 実験値

1. 垂直壁を砕波実験に置く場合の波圧

試 番号	水深 h ₀ cm	壁前面水深 h ₁ cm	周期 T sec	伝播速度 ω_{A-B} sec	波長 L m	波高 H ₀ cm	波圧計中心より 水面までの距離 Z cm	波圧実験値 P g/cm ²	垂直壁の位置 材料先端からの 距離 cm	伝播速度 計算値 ω_{cal} sec	$\frac{\omega_{cal} - \omega_{cal}}{\omega_{A-B}}$	$\frac{\omega_{cal}^2}{\omega_{A-B}^2} \frac{\partial \gamma}{\partial \gamma}$
122	40.0	6.6	1.16	1.71	1.98	7.9	4.3	135.0	1.67	1.62	0.06	29.8
125	"	"	1.21	1.67	2.02	9.1	1.3	52.5	"	1.63	0.03	28.5
126	"	"	1.21	1.62	1.95	9.8	-1.0	76.0	"	1.62	0	26.7
123	"	"	1.23	1.71	2.10	8.9	-3.6	62.5	"	1.66	0.03	29.8
124	"	"	1.25	1.67	2.09	8.5	-3.6	54.5	"	1.65	0.02	28.5
121	42.6	6.6	1.29	1.67	2.15	9.1	12.3	40.0	1.80	1.69	0.02	28.5
117	"	"	1.29	1.67	2.15	10.0	4.3	41.0	"	1.69	0.02	28.5
118	"	"	1.29	1.62	2.09	10.0	4.3	29.0	"	1.67	0.04	26.7
114	"	"	1.23	1.64	2.02	9.4	1.3	49.0	"	1.66	0.02	27.4
115	"	"	1.25	1.62	2.03	10.1	1.3	42.5	"	1.66	0.03	26.7
113	"	"	1.25	1.71	2.14	10.6	-1.0	71.0	"	1.68	0.02	29.8
116	"	"	1.29	1.67	2.15	9.6	-1.0	38.0	"	1.69	0.02	28.5
119	"	"	1.29	1.71	2.22	10.3	-3.6	113.5	"	1.70	0.01	29.8
120	"	"	1.29	1.71	2.22	9.3	-3.6	130.0	"	1.70	0.01	29.8
91	42.6	4.6	1.63	1.87	3.05	9.0	14.3	22.0	1.90	1.83	0.03	35.7
92	"	"	1.63	1.76	2.87	8.3	14.3	29.0	"	1.81	0.03	31.6
88'	"	"	1.63	1.82	2.97	8.7	6.3	71.0	"	1.82	0.03	33.8
93	"	"	1.63	1.87	3.05	8.5	6.3	63.0	"	1.83	0.03	35.7
94	"	"	1.63	1.87	3.05	9.6	6.3	64.5	"	1.83	0.03	35.7
95	"	"	1.63	1.87	3.05	9.2	6.3	79.0	"	1.83	0.03	35.7
90	"	"	1.59	1.87	2.97	8.8	3.3	49.5	"	1.82	0.03	35.7
91'	"	"	1.63	1.87	3.05	9.0	3.3	11.0	"	1.83	0.03	35.7
92'	"	"	1.63	1.76	2.87	8.3	3.3	14.0	"	1.81	0.03	31.6
94'	"	"	1.63	1.87	3.05	8.5	3.3	10.0	"	1.83	0.03	35.7
95'	"	"	1.63	1.87	3.05	9.2	3.3	9.3	"	1.83	0.03	35.7

デー 番号	水深	壁前水深	周期	伝播速度	波長	波高	波高計中の 水面からの高さ	波速(値)	流速(値)	流速(値)	流速(値)	流速(値)
	H_0 cm	H_1 cm	T sec	$C_{A.B.}$ m/sec	L m	H_0 cm	Z cm	P cm ²	u m	u_{cal}	$\frac{u_1 - u_2}{u_1 + u_2}$	$\frac{u_1^2 - u_2^2}{u_1^2 + u_2^2}$ cm ²
109	42.6	4.6	1.63	1.82	2.97	7.2	3.3	66.0	1.90	1.82	0	33.8
110	"	"	1.63	1.76	2.87	6.3	3.3	63.5	"	1.81	0.03	31.6
89'	"	"	1.63	1.88	3.06	9.0	1.0	54.5	"	1.83	0.03	36.0
96'	"	"	1.63	1.93	3.15	9.1	1.0	43.5	"	1.85	0.05	38.0
111	"	"	1.63	1.82	2.97	6.9	1.0	38.5	"	1.82	0	33.8
112	"	"	1.63	1.82	2.97	7.0	1.0	49.0	"	1.82	0	33.8
88	"	"	1.63	1.82	2.97	8.7	-1.6	85.0	"	1.82	0	33.8
96	"	"	1.63	1.93	3.15	9.1	-1.6	71.0	"	1.85	0.05	38.0
60'	42.6	5.6	2.08	1.85	3.85	6.5	13.3	6.0	1.85	1.90	0.03	34.9
61'	"	"	2.08	1.79	3.72	6.0	13.3	2.0	"	1.89	0.06	32.7
62'	"	"	2.02	1.93	3.86	5.8	13.3	3.5	"	1.90	0.02	38.0
56'	"	"	2.04	1.87	3.81	6.5	5.3	13.5	"	1.90	0.02	35.7
57'	"	"	2.08	1.76	3.64	6.7	5.3	14.0	"	1.89	0.08	31.6
58	"	"	2.00	1.90	3.80	6.9	2.3	16.5	"	1.90	0	36.8
59	"	"	2.08	1.82	3.79	6.1	2.3	17.5	"	1.90	0.05	33.8
60	"	"	2.08	1.85	3.85	6.5	0	38.5	"	1.90	0.03	34.9
61	"	"	2.08	1.79	3.72	6.0	0	43.5	"	1.89	0.06	32.7
62	"	"	2.02	1.93	3.86	5.8	0	42.5	"	1.90	0.02	38.0
56	"	"	2.04	1.87	3.81	6.5	-2.6	24.5	"	1.90	0.02	35.7
57	"	"	2.08	1.76	3.64	6.7	-2.6	21.0	"	1.89	0.08	31.6
101	44.9	6.9	1.67	1.82	3.04	9.9	12.0	23.5	1.90	1.86	0.03	33.8
102	"	"	1.63	1.82	2.97	10.2	12.0	35.5	"	1.85	0.02	33.8
99'	"	"	1.63	1.82	2.97	9.3	4.0	38.0	"	1.85	0.02	33.8
100	"	"	1.58	1.93	3.05	9.6	4.0	58.5	"	1.86	0.04	38.0
99	"	"	1.63	1.82	2.97	9.3	1.0	79.5	"	1.85	0.02	33.8
105	"	"	1.65	1.87	3.09	8.0	1.0	57.5	"	1.87	0	35.7
106	"	"	1.65	1.82	3.01	7.5	1.0	50.0	"	1.85	0.02	33.8
107	"	"	1.67	1.82	3.04	7.3	1.0	55.0	"	1.86	0.03	33.8
108	"	"	1.67	1.82	3.04	7.8	1.0	43.0	"	1.86	0.03	33.8
97'	"	"	1.58	1.93	3.05	9.9	-1.3	55.5	"	1.86	0.04	38.0
98'	"	"	1.63	1.87	3.05	10.5	-1.3	56.5	"	1.86	0.01	35.7
103	"	"	1.67	1.82	3.04	8.1	-1.3	121.0	"	1.86	0.03	33.8
104	"	"	1.61	1.87	3.01	8.1	-1.3	78.0	"	1.85	0.02	35.7
97	"	"	1.58	1.93	3.05	9.9	-3.9	72.0	"	1.86	0.04	38.0
98	"	"	1.63	1.84	3.05	10.5	-3.9	57.5	"	1.86	0.01	35.7

2重直壁と碎波矢より5cm前方に置いた場合の波圧

テ- 番号	水深	壁 前面水深	周期	伝播速度	波長	波高	波面 水面との距離	波面 水面との距離	壁の位置 斜面先端より	伝播速度 計算値		
	h_0 cm	h_1 cm	T sec	W_{10} m/sec	L m	H_0 cm	Z cm	P g/cm ²	m	W_{cal} m/sec	$\frac{W_1 - W_{cal}}{W_{10}}$	$\frac{W_1^2 - W_{cal}^2}{W_{10}^2}$ g/cm ²
42'	42.6	5.6	1.62	1.72	2.79	9.7	13.3	28.1	1.85	1.79	0.05	30.2
43'	"	"	1.66	1.67	2.77	9.7	13.3	32.0	"	1.79	0.08	28.5
38'	"	"	1.54	1.72	2.65	11.0	5.3	27.1	"	1.78	0.04	30.2
39'	"	"	1.54	1.82	2.80	10.6	5.3	32.7	"	1.80	0.02	33.8
40'	"	"	1.56	1.71	2.67	9.9	5.3	26.1	"	1.78	0.05	29.8
41	"	"	1.55	1.79	2.77	10.6	2.3	28.1	"	1.80	0.01	32.7
42	"	"	1.62	1.72	2.79	9.7	2.3	28.1	"	1.80	0.05	30.2
44	"	"	1.58	1.69	2.68	9.6	2.3	29.8	"	1.78	0.06	29.2
45	"	"	1.54	1.79	2.76	9.7	2.3	33.4	"	1.79	0	32.7
44'	"	"	1.58	1.69	2.68	9.6	0	29.8	"	1.78	0.06	29.2
45'	"	"	1.54	1.79	2.76	9.7	0	33.4	"	1.79	0	32.7
35	"	"	1.67	1.76	2.94	9.1	-2.6	28.1	"	1.82	0.04	31.6
36	"	"	1.65	1.79	2.95	11.1	-2.6	32.3	"	1.82	0.02	32.7
38	"	"	1.54	1.72	2.65	11.0	-2.6	27.1	"	1.78	0.04	30.2
39	"	"	1.54	1.82	2.80	10.6	-2.6	32.7	"	1.80	0.02	33.8
40	"	"	1.56	1.71	2.67	9.9	-2.6	26.1	"	1.78	0.05	29.8
43	"	"	1.66	1.67	2.77	9.7	-2.6	32.0	"	1.80	0.08	28.5
50'	44.9	7.9	1.58	1.82	2.88	11.6	11.0	9.0	1.85	1.84	0.02	33.8
51'	"	"	1.56	1.87	2.92	10.2	11.0	5.5	"	1.85	0.02	35.7
37'	"	"	1.54	1.87	2.88	9.5	3.0	49.0	"	1.84	0.02	35.7
48'	"	"	1.54	1.76	2.71	10.4	3.0	23.0	"	1.82	0.04	31.6
49'	"	"	1.52	1.79	2.72	11.0	3.0	16.0	"	1.82	0.02	32.7
53'	"	"	1.50	1.87	2.81	11.2	3.0	10.0	"	1.83	0.03	35.7
55'	"	"	1.50	1.85	2.78	11.2	3.0	40.5	"	1.82	0.02	34.9
33	"	"	1.54	1.82	2.80	10.3	0	87.0	"	1.83	0.01	33.8
34	"	"	1.58	1.87	2.96	10.4	0	87.5	"	1.85	0.02	35.7
46	"	"	1.46	1.82	2.66	10.7	0	129.0	"	1.81	0.01	33.8
47	"	"	1.54	1.79	2.76	10.7	0	127.5	"	1.82	0.02	32.7
53	"	"	1.50	1.87	2.81	11.2	0	137.5	"	1.83	0.03	35.7
54	"	"	1.53	1.82	2.88	10.7	0	122.5	"	1.84	0.02	33.8
33'	"	"	1.54	1.82	2.80	10.3	-2.3	27.5	"	1.83	0.01	33.8
34'	"	"	1.58	1.87	2.96	10.4	-2.3	29.5	"	1.85	0.02	35.7
47'	"	"	1.54	1.79	2.76	10.7	-2.3	33.0	"	1.82	0.02	32.7
48	"	"	1.54	1.76	2.71	10.4	-4.9	95.5	"	1.82	0.04	31.6

テ- 番号	水深	壁前面水深	周期	伝播速度	波長	波高	波圧計中心 水面からの距離	波圧実験値	鉛直壁の位置 斜角(度)からの	伝播速度 計算値		
	h_0 cm	h_1 cm	T sec	u_{AB} m/sec	L m	H_0 cm	Z cm	P g/cm ²	m	u_{cal} m/sec	$\frac{u_{AB} - u_{cal}}{u_{AB}}$	$\frac{u_{AB}^2}{g}$ g/cm ²
49	44.9	7.9	1.52	1.79	2.72	11.0	-4.9	98.0	1.85	1.82	0.02	32.7
50	"	"	1.58	1.82	2.88	11.6	-4.9	91.0	"	1.84	0.02	33.8
51	"	"	1.56	1.87	2.92	10.2	-4.9	99.0	"	1.85	0.02	35.7
55	"	"	1.50	1.85	2.78	11.2	-4.9	78.0	"	1.82	0.02	34.9

3 冊直壁と併設より 5 cm 後方に置いた場合の波圧

テ- 番号	水深	壁前面水深	周期	伝播速度	波長	波高	波圧計中心 水面からの距離	波圧実験値	鉛直壁の位置 斜角(度)からの	伝播速度 計算値		
	h_0 cm	h_1 cm	T sec	u_{AB} m/sec	L m	H_0 cm	Z cm	P g/cm ²	m	u_{cal} m/sec	$\frac{u_{AB} - u_{cal}}{u_{AB}}$	$\frac{u_{AB}^2}{g}$ g/cm ²
64'	42.6	5.6	1.24	1.67	2.07	13.5	13.3	2.5	1.85	1.66	0.01	28.5
70'	"	"	1.23	1.62	2.00	12.1	13.3	26.0	"	1.65	0.02	26.7
71'	"	"	1.25	1.65	2.07	11.3	13.3	13.0	"	1.66	0.01	27.8
67'	"	"	1.16	1.78	2.06	12.7	5.3	31.0	"	1.66	0.07	32.3
68'	"	"	1.20	1.62	1.94	14.6	5.3	39.0	"	1.63	0.01	26.7
69'	"	"	1.18	1.79	2.11	12.3	5.3	64.0	"	1.68	0.07	32.7
73'	"	"	1.16	1.65	1.91	11.0	5.3	66.0	"	1.62	0.02	27.8
74	"	"	1.15	1.67	1.92	11.7	2.3	57.0	"	1.62	0.03	28.5
75	"	"	1.23	1.67	2.05	10.4	2.3	37.0	"	1.66	0.01	28.5
78	"	"	1.21	1.69	2.04	9.9	2.3	27.5	"	1.66	0.02	29.2
79	"	"	1.16	1.72	2.00	10.9	2.3	38.0	"	1.65	0.05	30.2
80	"	"	1.20	1.72	2.06	10.5	2.3	22.5	"	1.66	0.04	30.2
64	"	"	1.24	1.67	2.07	13.5	0	34.0	"	1.66	0.01	28.5
70	"	"	1.23	1.62	2.00	12.1	0	31.0	"	1.65	0.03	26.7
71	"	"	1.25	1.65	2.07	11.3	0	31.0	"	1.66	0.01	27.8
74'	"	"	1.15	1.67	1.92	11.7	0	43.5	"	1.62	0.03	28.5
75'	"	"	1.23	1.67	2.05	10.4	0	76.5	"	1.66	0.01	28.5
77'	"	"	1.16	1.69	1.96	11.7	0	97.0	"	1.64	0.03	29.2
78'	"	"	1.21	1.69	2.04	9.9	0	60.0	"	1.66	0.02	29.2
80'	"	"	1.20	1.72	2.06	10.5	0	75.0	"	1.66	0.04	30.2
66	"	"	1.18	1.72	2.03	13.8	-2.6	39.5	"	1.66	0.04	30.2

註. $u_{cal} = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}} \tanh \frac{2\pi h_0}{L}$

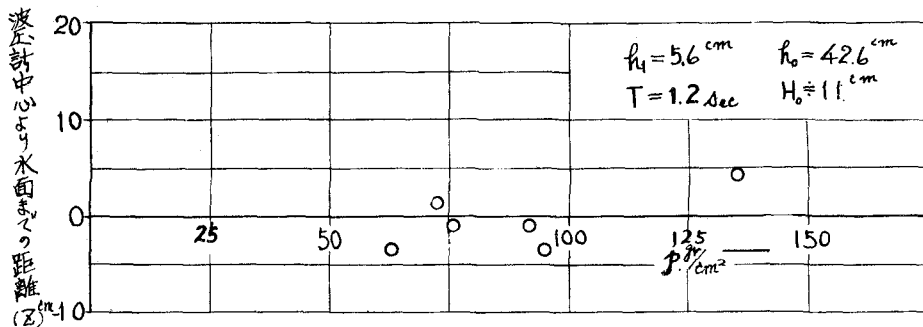
u_{AB} = 波高計 A より波高計 B に至る伝播速度

4. 垂直壁と砕波矢より18cm 後方に置いた場合の波圧

データ 番号	水深	壁前面水深	周期	伝播速度	波長	波高	波圧計中心から 水面までの距離	波圧計値	垂直壁位置 斜衝波跡からの 距離	伝播速度 計算値	$\frac{u_1 - u_2}{u_1 + u_2}$	$\frac{u_1^2 - u_2^2}{u_1^2 + u_2^2}$
	h_0 cm	h_1 cm	T sec	$u_{1/2}$ m/sec	L m	H_0 cm	Z cm	P g/cm ²	m	u_{cal} m/sec	$\frac{u_1 - u_2}{u_1 + u_2}$	$\frac{u_1^2 - u_2^2}{u_1^2 + u_2^2}$
85'	40.0	3.0	1.17	1.67	1.95	9.5	7.9	32.4	1.85	1.62	0.03	28.5
86'	"	"	1.17	1.67	1.95	8.8	7.9	30.0	"	1.62	0.03	28.5
82'	"	"	1.15	1.72	1.98	11.8	4.9	42.0	"	1.62	0.06	30.2
83'	"	"	1.12	1.69	1.89	9.8	4.9	35.0	"	1.60	0.06	29.2
81'	"	"	1.13	1.79	2.02	10.8	2.6	47.5	"	1.62	0.09	32.7
82'	"	"	1.15	1.72	1.98	11.8	2.6	44.5	"	1.62	0.06	30.2
83'	"	"	1.12	1.69	1.89	9.8	2.6	46.0	"	1.60	0.06	29.2
84'	"	"	1.21	1.63	1.97	8.9	0	40.5	"	1.62	0.01	27.1
85'	"	"	1.17	1.67	1.95	9.5	0	51.5	"	1.62	0.03	28.5
87'	"	"	1.17	1.71	2.00	9.1	0	41.5	"	1.63	0.05	29.8

図-3(a)

垂直壁を砕波矢に置いた場合



(b)

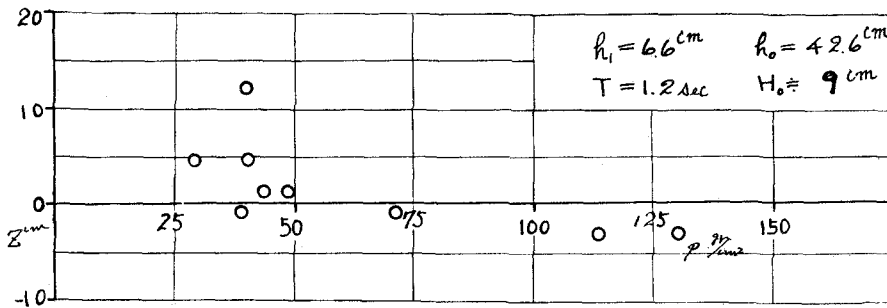
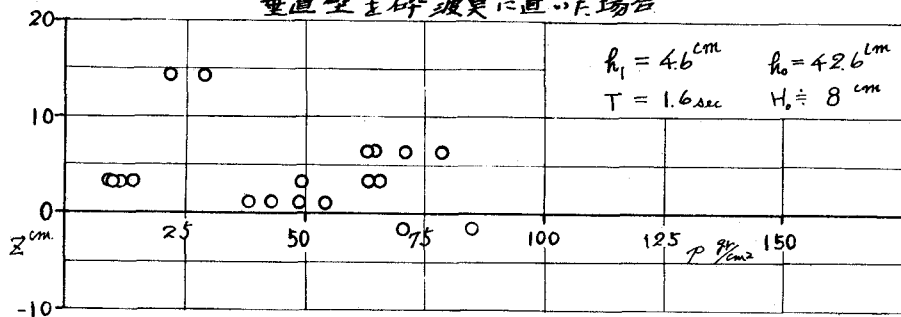
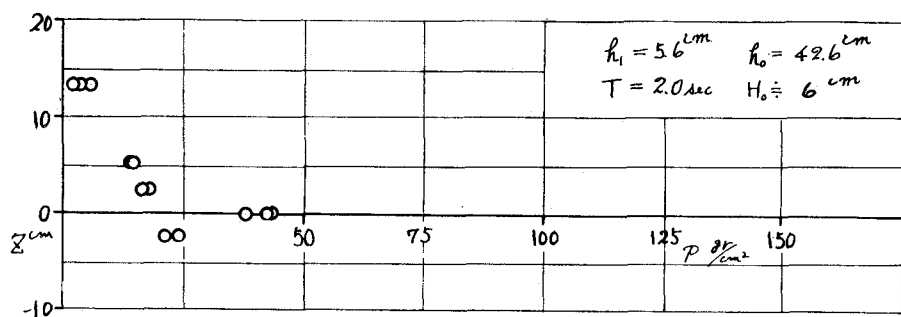


図-3 (c)
垂直壁主砕破欠に置つた場合



(d)



(e)

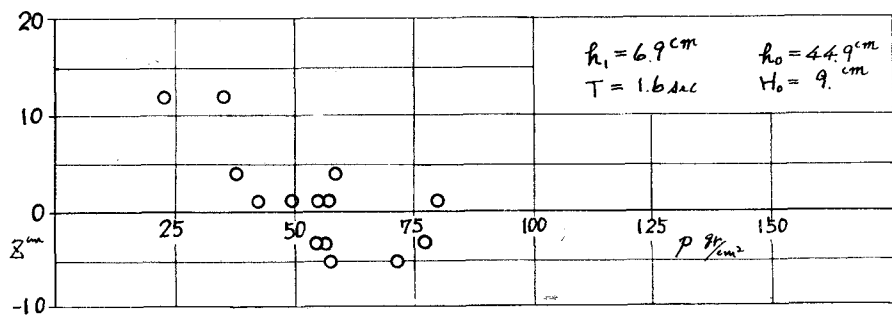
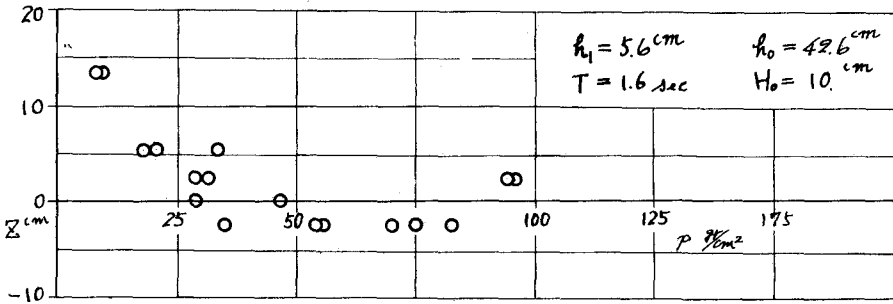


図-4(a)

垂直壁を砕波突より5cm前方に置いた場合



(b)

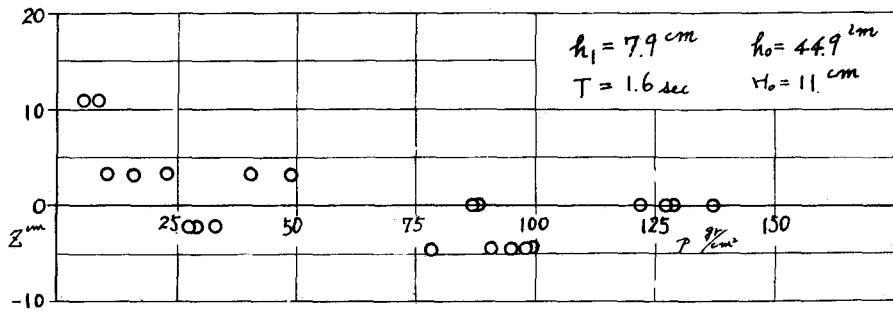


図-5(a)

垂直壁を砕波突より5cm後方に置いた場合

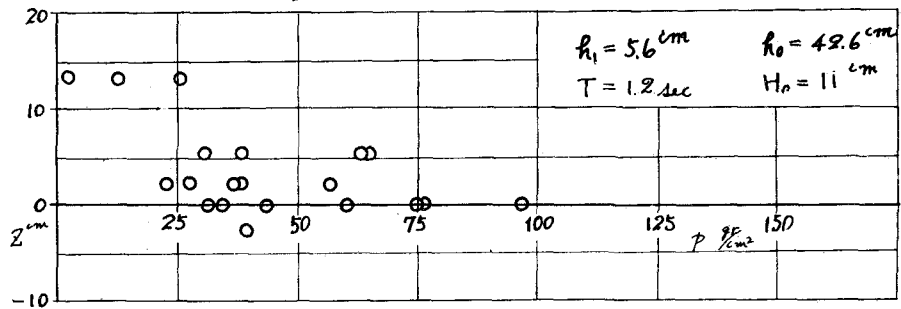
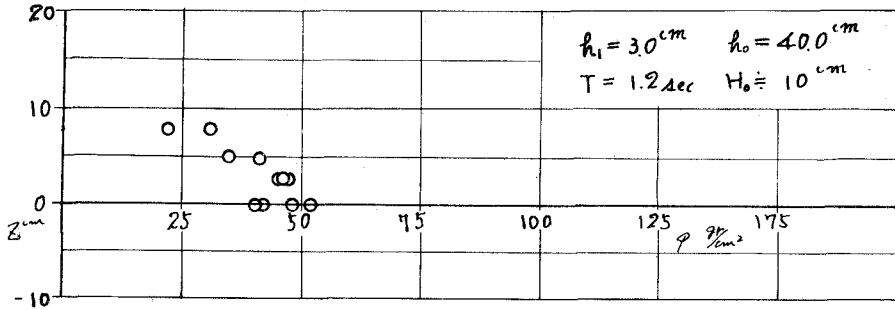


図-5(6)

垂直壁と砕波矢より18^{cm}後方に置いた場合



いま砕波の水分子の速度を u_b とし、 u_b なる速度の噴流が垂直な壁に当たるときにあよぼす動水圧を P で表わすと、

$$P = w_0 \frac{u_b^2}{g} \quad (1)$$

この実験における砕波の伝播速度 $w_0 \div 1.7 \sim 2.0 \text{ m/sec}$ であるから、 $u_b = w_0$ とおくと

$$P = w_0 \frac{w_0^2}{g} \div 30 \sim 40, \text{ g/cm}^2 \quad (2)$$

である。表-2、および図-3によれば、この値は完全な砕波においては波頂附近の圧力、砕波と重複波との中間波においては水面附近の圧力にほぼ等しい。すなわち丁度垂直壁の直前で砕波して壁に衝突する場合には、波頂附近の水の塊は恰も噴流のような状態で壁に当る。また半ば砕波しながら壁に衝突する場合には波の山が噴流と同じような状態で壁に当ることを考えられる。このことは実験における観測からも領ける。

つぎに完全な砕波における水面附近および水面以下の圧力は、(1)式で表わされる値のほぼ2〜3倍である。これは水塊が直接壁に衝突した場合に壁にあよぼす圧力として考えられる値よりかなり大きい。

実験における観察によると、砕波が壁に衝突する際には、図-6に示すように、水面と波頂との間に空気を抱き込み、この空気が波が突き当たる時に圧縮され、爆発し、壁を強く押し、同時に上方に水塊を押し上げるために、壁に衝撃的な強い圧力が伝わり同時に上方に高く飛沫を吹き上げるものと考えられる。図-6(a)は砕波の山の先が壁に当たった瞬間、即ち図-6(b)は砕波全体が壁に当たって跳ね返っている瞬間でこのときに壁には衝撃的な圧力が伝わり、(c)は引き波のときで、沢山の気泡が見られる。この衝撃的な圧力の機構についてはつぎの機会に述べる。

砕波の圧力は、垂直壁と砕波矢とを置いた場合が最も大きく、砕波矢を遠ざかると急に減少する。図-5(6)は図-3(a)の壁と砕波矢より18^{cm}後方(約2H₀後方)に移した場合の波圧を示す。しかし図-4(a), (b), 図-5(a)のように砕波矢より僅かに5^{cm}(約1/2 H₀)前後に移した場合

図-6 (a) 砕波が壁に衝突する直前

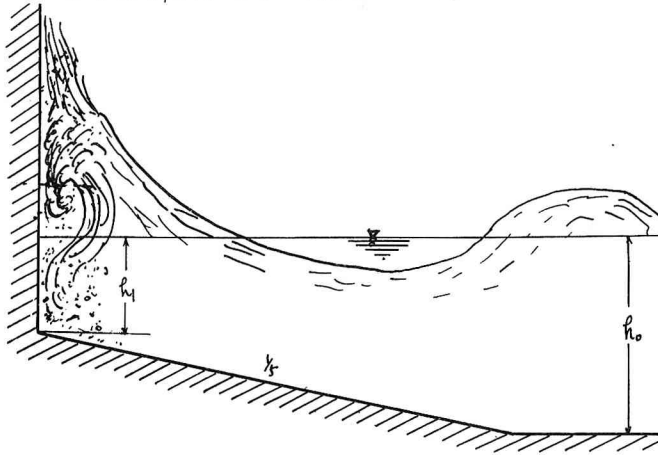


図-6 (b) 砕波が壁に衝突した瞬間

(この時に衝撃的圧力が働き同時に跳波する。)

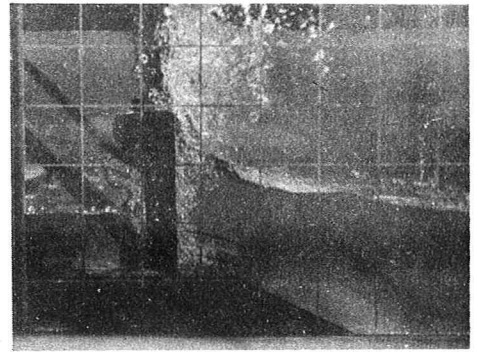
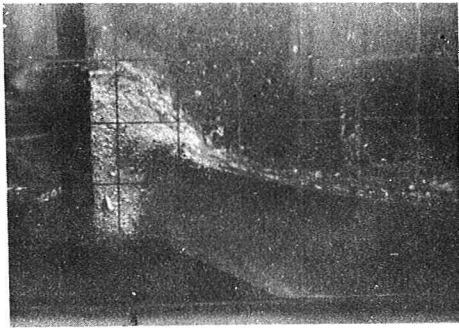


図-6 (c) 砕波が壁に衝突して後引き波



には、砕波矢に置いた場合とあまり変わっていない。これは同一条件で起した波でも、そのときにより砕波矢は $\frac{1}{2}$ (約 $\frac{1}{2}H_0$) くらいは前後に移動するのでこの程度の位置の変化は波圧には明瞭に現われてこないわけである。図-3, 4, 5において砕波の圧力が同一条件にあっても時によりかなり大きく変化しているのもこの理由からであると考えられる。

$\frac{1}{2}$ 斜面上に垂直壁がある場合には、壁の

位置にあける水深 $h_1 \doteq (0.8 \sim 0.9)H_0$ になると、波は完全に砕けず、砕波と重複波との中間波になり、 $h_1 \doteq (1.2 \sim 1.3)H_0$ になると重複波になる。すなわち勾配が $\frac{1}{2}$ あるいはそれより急な斜面上に垂直壁がある場合には、水平面あるいは非常に緩やかな勾配の斜面上にある場合より浅い水深において重複波を生ずる。したがってこのような場合に、完全な砕波あるいは砕波と重複波との中間波を生ずる場合の壁直前の水深 h_1 は小さいので ($h_1 < 0.8H_0$) 波圧は水面以下にあっても水面附近とほぼ同じ大きさを示している(図-3, 4, 5参照) したが、このような場合の波圧はほぼ図-7に示すような分布をしていると考えられる。故に垂直壁の単位長さ当りの全波圧は次のようになる。

$$P = \frac{1}{2}P_2 \times 1.25H_0 + h_1P_2 = \frac{1}{2} \times 25P_1 \times 1.25H_0 + 25h_1P_1 \doteq (1.56H_0 + 25h_1)P_1 \quad \dots(3)$$

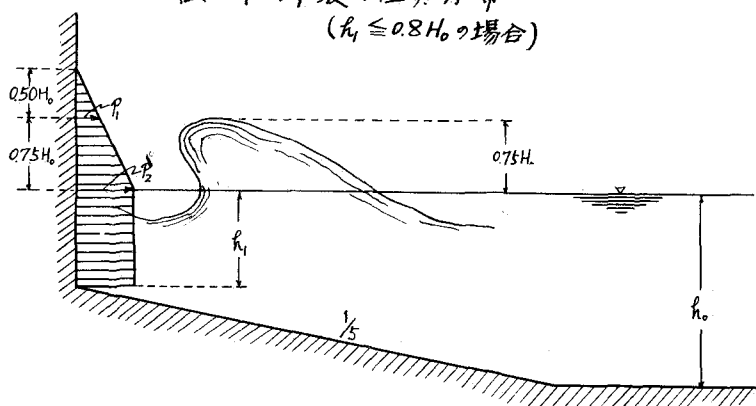
$$P_1 = \frac{\gamma}{g} \omega_0^2$$

(3)式中の ω_0 は砕波の伝播速度であるが、防波堤、防潮堤などの設計に用いる砕波は暴風時のものであるから、波形勾配が $\delta_0 > 0.040$ であつて一般に崩れ波の状態で、比較的深い場所で砕ける。このような崩れ波の伝播速度は微小振幅波の伝播速度に非常に近い。

表-2 によれば大部分の試験値は計算値の±数%以下の誤差で比較的好く合っている。

また碎波高 $H_b \div H_0$ とあいて差支ない。

図-7 碎波の圧力分布
($h_1 \leq 0.8 H_0$ の場合)



(2) 混成堤に仿く波圧
混成堤における捨石部の港外側の法は1:2に造られる場合が多いので、この実験において

も斜面の勾配を1:2とした。先ず垂直壁と設けずに、 $1/2$ 斜面における各種の波の汀線付近の状況を調べたが、この勾配の斜面では汀線近くで碎波する場合は極めて稀で、碎波しても非常に弱い。また種々な位置に垂直壁を置いて、色々な種類の波を色々な水深で衝突させたが、碎波として衝突する場合は比較的少く、また碎波する場合でも、 $1/5$ 勾配の場合および水平部を置いた場合に比して遥かに波圧は小さい。壁前面の水深が増大すると静かな重複波になる。しかし混成堤のように垂直壁の前面に水平部を設けると、非常によく碎波するようになり、また激しく碎波して、壁に衝撃的な強い圧力を及ぼす場合が多い。これらの詳細については次の順序で講義の時説明する。

(i) $1/2$ 斜面上の垂直壁に仿く波圧

(ii) 垂直壁の前面に水平部分を置いた場合に壁に仿く波圧

(a) 水平部分が 10^{cm} (約 $(0.5 \sim 1.6) H_0$) の場合

(b) 水平部分が 20^{cm} (約 $(1 \sim 3) H_0$) の場合