

3. スリット型防波堤に働く波圧

表—1 に記すような5種類の断面のスリット型防波堤に働く最大波圧強度 $p_{\max}$ (t/m^2), 最大同時波圧合力 $P_{e\max(\text{silt})}$ (t/m) ならびにスリット型防波堤の下面板に働く揚圧力強度 p_u (t/m^2) などを測定した. $P_{e\max(\text{silt})}$ の値は, 在来の混成堤の実験値 $P_{e\max(\text{compos.})}$ (t/m) および計算値 $P_{0\max(\text{compos.})}$ (t/m) と比較した. 表—2 にはこれらの値が各断面について総括してある. なお, この表には入射波高とともに防波堤沖合1~2波長における合成波高および合成波の反射率 K_R も記してある.

スリット型防波堤において, 前面板(スリット部)に働く最大同時波圧合力と, 後部の不透過鉛直壁に働く最大同時波圧合力とは一般には同時刻には働かず, 後者が前者より遅れて働く. 波圧強度が小さい場合には, 同時波圧合力の時間による変化は小さいので, 近似的にこの両者は同時に働くものとして両者の和をスリット型防波堤に働く最大同時波圧合力 $P_{e\max(\text{silt})}$ とした^{が1),2)}, 今回の研究におけるように, 水深が深く, かつ波浪が強大で

あるような条件のもとでは, 前面板(スリット部)と不透過鉛直壁に働く最大同時波圧合力はかなり強大なものとなるが, わずかの時間のずれによって同時波圧合力は大きく変化するので, 両者が同時に作用すると考えることは不適當である. それゆえ, 今回の研究においては, スリット型防波堤全体に働く最大同時波圧合力 $P_{e\max(\text{silt})}$ は, 不透過鉛直壁に働く最大同時波圧合力と, それと同時刻に働く前面板の波圧合力との和とした. その理由は, 前面板に働く最大同時波圧合力と, それと同時刻に背後の不透過鉛直壁に働く波圧合力との和はすべての場合において, 前記の値よりもかなり小さいからである.

表—2 には, このようにして得られた $P_{e\max(\text{silt})}$ の値が総括されている.

表中, 碎波の場合の最大同時波圧合力の計算には低基混成堤に対する最大同時波圧合力を与える式⁴⁾を用い, また, 重複波の場合の最大同時波圧合力の計算は P_4 式⁴⁾を用いて算出したものである(ただし, 断面Vの $T=10.0$ sec, $H=8.7$ m の場合については波圧式の適用条件を考慮して P_4 式⁴⁾を用いた).

表—2 スリット型防波堤および在来の混成堤に働く最大波圧合力の比較

(潮位 L.W.L. D.L. ± 0.0 m)

断 面	風 速 (m/sec)	入 射 波			波形状配 H/L	合 成 波 高 (m)		反 射 率 K_R		最 大 波 圧 合 力			$P_{e\max}$ (スリット型) の比		揚圧力 p_u (t/m^2)
		周 期 T (sec)	波 高 H (m)	波 長 L (m)		直立壁	スリット型	直立壁	スリット型	直 立 壁		スリット型	$P_{e\max}$ (t/m)	$P_{e\max}$ (t/m)	
										$P_{e\max}$ (t/m)	$P_{e\max}$ (t/m)				
I	38	8.0	8.0	83.4	0.096	12.6	8.8	0.58	0.10	124.4*	133.6**	84.4	0.68	0.63	4.6~6.0
	38	10.0	8.7	111.8	0.078	14.8	11.3	0.70	0.30	170.0*	162.8**	89.7	0.53	0.55	5.8~7.0
	38	14.0	8.7	165.7	0.053	15.2	12.1	0.75	0.39	101.3	132.9	133.7	1.32	1.01	6.5~8.6
	0	8.0	7.8	83.4	0.094	12.6	8.6	0.62	0.10	101.5*	130.3**	73.4	0.72	0.56	4.0~4.9
	0	10.0	8.6	111.8	0.077	14.8	10.9	0.72	0.27	140.3*	161.0**	83.8	0.60	0.52	5.6~7.3
	0	14.0	8.6	165.7	0.052	15.1	12.0	0.76	0.40	93.7	131.3	106.7	1.14	0.81	6.1~7.6
II	38	7.0	6.8	68.7	0.099	10.2	8.1	0.50	0.19	96.5*	91.3**	70.4	0.73	0.77	—
	38	8.0	7.0	83.4	0.084	11.8	8.6	0.69	0.23	117.8*	99.8**	72.5	0.62	0.73	—
	38	8.0	8.0	83.4	0.096	12.8	10.3	0.60	0.29	142.8*	128.2**	78.7	0.55	0.61	5.5
	38	10.0	8.7	111.8	0.078	14.6	13.3	0.68	0.53	134.2*	152.0**	109.1	0.81	0.72	7.5
	38	14.0	8.7	165.7	0.053	15.5	14.6	0.78	0.68	113.5	132.9	137.6	1.21	1.04	8.1
	0	8.0	7.8	83.4	0.094	11.9	10.3	0.53	0.32	160.6*	125.0**	76.6	0.48	0.61	4.7
	0	10.0	8.6	111.8	0.077	14.6	13.7	0.70	0.59	147.4*	150.3**	96.4	0.65	0.64	6.1
	0	14.0	8.6	165.7	0.052	15.4	14.3	0.79	0.66	106.0	131.3	133.6	1.26	1.02	8.0
III	38	8.0	8.0	83.4	0.096	12.4	10.1	0.55	0.26	148.5*	133.6**	102.5	0.69	0.77	5.8
	38	10.0	8.7	111.8	0.078	14.2	13.2	0.63	0.52	156.1*	162.8**	102.1	0.65	0.63	—
	38	12.0	9.0	139.1	0.065	14.1	13.4	0.57	0.49	131.4	136.0	122.0	0.93	0.90	—
	38	14.0	8.7	165.7	0.053	15.5	14.6	0.78	0.68	106.2	132.9	130.3	1.23	0.98	8.1
IV	38	8.0	6.3	83.4	0.076	10.0	7.8	0.59	0.24	91.2*	108.6**	47.6	0.52	0.44	4.0
	38	8.0	8.0	83.4	0.096	12.8	10.0	0.60	0.25	166.9*	163.9**	99.3	0.60	0.61	4.9
	38	10.0	6.9	111.8	0.062	11.1	9.5	0.61	0.34	111.6*	127.5**	75.6	0.67	0.59	4.9
	38	10.0	8.7	111.8	0.078	14.2	12.5	0.63	0.43	199.0*	186.2**	122.5	0.62	0.66	7.0
	38	12.0	7.0	139.1	0.050	11.7	10.6	0.67	0.51	67.4	106.0	74.7	1.11	0.70	5.7
	38	12.0	9.0	139.1	0.065	14.5	13.4	0.61	0.49	184.2*	194.8**	118.2	0.64	0.61	7.2
	38	14.0	7.0	165.7	0.042	11.4	10.8	0.63	0.54	76.6	107.5	86.4	1.13	0.80	6.1
	38	14.0	8.7	165.7	0.053	15.0	14.0	0.72	0.61	104.1	132.9	107.0	1.03	0.81	8.5
V	38	8.0	8.0	83.4	0.096	12.9	10.5	0.61	0.31	119.5*	128.2**	86.5	0.72	0.67	5.5
	38	10.0	8.7	111.8	0.078	15.2	13.0	0.75	0.49	97.6	97.6	102.0	1.05	1.05	—
	38	12.0	9.0	139.1	0.065	16.3	13.9	0.81	0.54	98.8	136.0	110.8	1.12	0.82	—
	38	14.0	8.7	165.7	0.053	15.3	13.7	0.76	0.57	93.8	132.9	130.9	1.40	0.99	7.9

(注) * は碎波圧が働いたことを示し, ** は碎波圧としての計算値を示す

(1) 砕波が生ずる場合

a) 在来の混成防波堤断面との比較

図-2は、I～Vの各断面において、砕波が生ずる場合のスリット型防波堤に働く最大同時波圧合力 $P_{e\max}(\text{slit})$ と、それと同断面の在来の混成堤に働く最大同時波圧合力の実験値 $P_{e\max}(\text{compos.})$ の比を示す。なお、図-2には、前回の研究^{1),2)}の各断面に対する $P_{e\max}(\text{slit})$ と $P_{e\max}(\text{compos.})$ の比も同時に示した。同図および表-2より明らかなように、今回の実験において、 $P_{e\max}(\text{slit})$ の $P_{e\max}(\text{compos.})$ に対する比は 0.48 から 0.81 の間に分布しているが、ほとんどの場合には、ほぼ 0.70 以下である。また表-2より、同じく $P_{e\max}(\text{slit})$ と在来の混成堤に働く最大同時波圧合力の計算値 $P_{e\max}(\text{compos.})$ の比においても、 $P_{e\max}(\text{slit})$ の $P_{e\max}(\text{compos.})$ に対する比は 0.44 から 0.77 の間に分布するが、ほとんどの場合には、ほぼ 0.70 以下となっていることがわかる。以上のことから、スリット型防波堤に働く最大同時波圧合力は、在

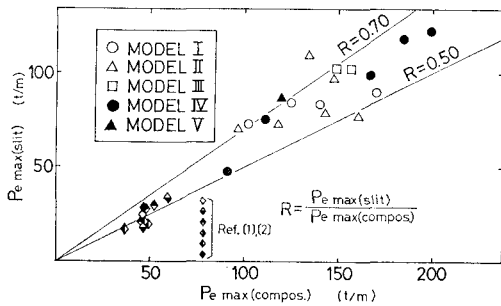


図-2 $P_{e\max}(\text{slit})$ と $P_{e\max}(\text{compos.})$ の比
(砕波が生ずる場合)

来の混成堤に働く最大同時波圧合力のほぼ 70 % 以下に減少すると言えよう。

図-3～7は、本実験断面のスリット型防波堤および在来の混成堤に働く波圧強度の分布の例を示す。これらの図から、砕波が生ずる場合には、スリット型防波堤に働く最大波圧強度 $p_{\max}$ は在来の混成堤に比べてほぼ 60 % 以下に減少していることがわかる。

b) 消波室幅 l の影響

表-2 において消波室幅が異なる断面 I ($l=10.0\text{ m}$) および断面 II ($l=6.0\text{ m}$) あるいは断面 III ($l=6.0\text{ m}$) の最大同時波圧合力の値を比較すれば明らかなように、本実験における消波室幅 l の変化は最大同時波圧合力の値にほとんど影響を与えていない。

c) 捨石堤天端幅 B の影響

本研究において、捨石堤天端幅の影響をみるために行なった断面 V ($B=6.0\text{ m}$)、断面 III ($B=8.0\text{ m}$) および断面 IV ($B=12.0\text{ m}$) の結果を、表-2 において比較すれば、在来の混成堤に働く $P_{e\max}(\text{compos.})$ は、計算によっ

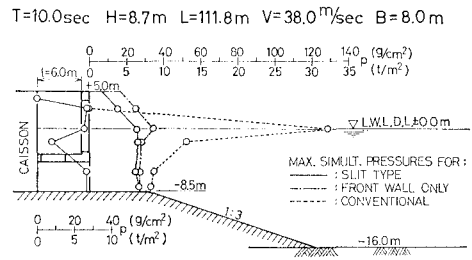


図-5 波圧分布 (断面 III)

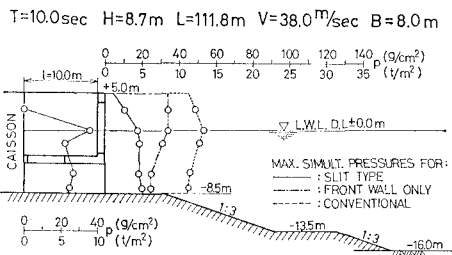


図-3 波圧分布 (断面 I)

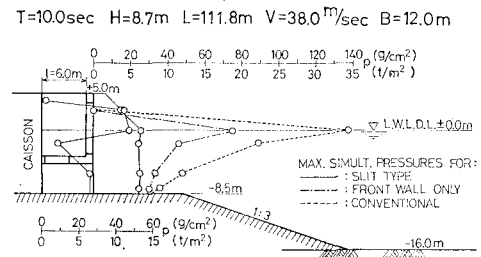


図-6 波圧分布 (断面 IV)

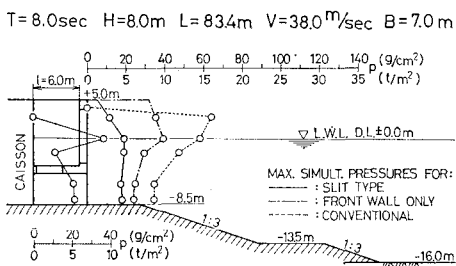


図-4 波圧分布 (断面 II)

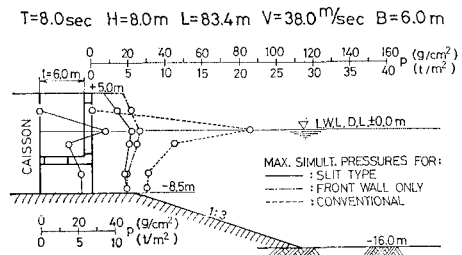


図-7 波圧分布 (断面 V)

ても予想されるように、捨石堤天端幅の増大に伴って増大し、捨石堤天端幅の $P_{e\max(\text{compos.})}$ に与える影響が大きい、このような場合においても、スリット型防波堤においては、その最大同時波圧合力の増大の割合は、在来の混成堤に対する最大同時波圧合力の増大の割合に比べて極めて小さく、スリット型防波堤においては最大同時波圧合力に与える捨石堤天端幅の影響はほとんどないことがわかる。

d) 捨石堤法先の小段の有無の影響

鹿島港南防波堤の標準断面は、その捨石堤法先に小段を有しており、本研究の実験断面ⅠおよびⅡにおいても同様に小段を有する断面となっている。一方、断面Ⅲ～Ⅴは、捨石堤法先に小段を有していない。それゆえ、断面Ⅱ ($l=6.0\text{ m}$, $B=7.0\text{ m}$) の場合の最大同時波圧合力と断面Ⅲ ($l=6.0\text{ m}$, $B=8.0\text{ m}$) あるいは断面Ⅴ ($l=6.0\text{ m}$, $B=6.0\text{ m}$) の場合の最大同時波圧合力とを比較すれば(表—2参照)、捨石堤法先小段がスリット型防波堤あるいは在来の混成堤に働く最大同時波圧合力におよぼす影響は小さいことがわかる。

(2) 重複波が生ずる場合

既述のように、前回の研究^{1),2)}においては、スリット型防波堤に働く最大同時波圧合力 $P_{e\max(\text{slit})}$ は、重複波圧あるいはそれに近い波圧の場合には、在来の混成堤に働く最大同時波圧合力 $P_{e\max(\text{compos.})}$ とほぼ同じかあるいはそれよりやや小さかった。その場合の静水面上の防波堤直立部天端高は $H_0=2.5\text{ m} \sim 5.6\text{ m}$ で、入射波高の $3.3\text{ m} \sim 4.3\text{ m}$ とほぼ同じ程度であった。

今回の研究においては、防波堤直立部天端高は静水面上 $H_0=5.0\text{ m}$ で、入射波高は $H=7.0\text{ m} \sim 9.0\text{ m}$ で、 H_0 の1.4倍～1.8倍である。このような場合には、在来の混成堤においては、波は防波堤天端上を多量に越波するので、 $P_{e\max(\text{compos.})}$ は計算による値 $P_{\sigma\max(\text{compos.})}$ よりも小さくなる。しかしながら、スリット型防波堤においては、防波堤前面の合成波高が小さくなるので越波量は少ない。それゆえ、表—2に示すように、 $P_{e\max(\text{slit})}$ が $P_{e\max(\text{compos.})}$ よりやや大きくなる場合がみられたが、在来の混成堤に働く波圧合力の計算値 $P_{\sigma\max(\text{compos.})}$ に対しては、ほぼ同じかあるいはやや小さい。

(3) 下面板に働く揚圧力

下面板に働く揚圧力の強度は、一般に下面板と同じ高さの位置の、後部の不透過鉛直壁に働く水平方向の波圧強度にほぼ等しく、 $p_u=4.0\text{ t/m}^2 \sim 8.0\text{ t/m}^2$ である。しかしながら、引き波の際に波面が下面板より著しく下方にさがる場合には、この波面の上昇時に波面が下面板に激しく衝突するので、揚圧力の強度は不透過鉛直壁の同

じ高さの位置に働く水平方向の波圧強度よりも著しく大きくなり、 $p_u=9.0\text{ t/m}^2 \sim 13.4\text{ t/m}^2$ 程度となった。このように、引き波の際に波面が下面板以下にさがる場合が生ずるのは、例えば断面Ⅳにおいて、実験水位が D.L. $\pm 0.0\text{ m}$ の時、i) $T=10.0\text{ sec}$, $H=8.7\text{ m}$, ii) $T=12.0\text{ sec}$, $H=9.0\text{ m}$, iii) $T=14.0\text{ sec}$, $H=7.0\text{ m}$ および 8.7 m の場合で、特に $T=12.0\text{ sec}$ で $H=9.0\text{ m}$ の場合には、引き波の際の波面は下面板より著しく下方にさがる。断面Ⅳにおいて、実験水位を D.L. $+0.75\text{ m}$ に上げ、引き波の際に波面が下面板よりも下方にさがることのないようにして実験を行なうと、表—2に示す断面Ⅳの揚圧力の値は、 $T=10.0\text{ sec}$, $H=8.7\text{ m}$ の場合に $p_u=7.5\text{ t/m}^2$ が $p_u=7.0\text{ t/m}^2$ に、 $T=12.0\text{ sec}$, $H=9.0\text{ m}$ の場合に $p_u=13.4\text{ t/m}^2$ が $p_u=7.2\text{ t/m}^2$ に、また、 $T=14.0\text{ sec}$, $H=8.7\text{ m}$ の場合に $p_u=9.3\text{ t/m}^2$ が $p_u=8.5\text{ t/m}^2$ にそれぞれ減少した。

4. 波圧の面からみた最適相対消波室幅

表—2から明らかのように、本実験における防波堤(断面Ⅰ～断面Ⅴ)に砕波が生じて最も大きな波圧をおよぼす波の周期は $T=8.0\text{ sec} \sim 10.0\text{ sec}$ で、その波長は $L=83\text{ m} \sim 112\text{ m}$ である。したがって消波室幅が $l=6.0\text{ m}$ の場合には、 $l/L=0.05 \sim 0.07$ である。また、前回の研究^{1),2)}においては、設計波(最も大きな波圧をおよぼす波)の周期は $T=7.0\text{ sec}$ 、波長は $L=61\text{ m} \sim 66\text{ m}$ で、用いたスリット型防波堤の消波室幅は $l=3.75\text{ m}$ および 5.50 m であった。この両者について最大同時波圧合力を比較したが、ほとんど差異はなく、研究の対象であった大阪港の防波堤においては $l=3.70\text{ m}$ に決定された。したがって、その場合の相対消波室幅は $l/L \approx 0.06$ である。

以上の結果より、スリット型防波堤の消波室幅 l の値は、設計波の波長 L に対して、 $l/L=0.05 \sim 0.07$ にするのが適当と考えられる。

参 考 文 献

- 1) 永井莊七郎・角野昇八: スリット型防波堤に関する研究, 第23回海講論文集, pp. 100～105, 1976.
- 2) Nagai, S. and S. Kakuno: A slit-type breakwater, Proc. of 15th Conf. on Coastal Eng., Honolulu, 1976.
- 3) Nagai, S. and K. Kurata: Investigations of wave-pressure formulas due to damages of breakwaters, Proc. of 14th Conf. on Coastal Eng., Copenhagen, 1974.
- 4) 永井莊七郎: 港湾工学, オーム社, pp. 50～60, 1975.