

合掌ブロックの特性について*

永井 莊七郎**・大坪 崇彦***・遠藤 正男****

1. 緒 言

わが国においては約 10 年ほど前から、捨石防波堤の被覆、混成堤の直立部前面の根固めあるいは波力に対する補強、埋立地周囲の防波護岸あるいは海岸堤防前面の消波堤の被覆などのために種々の異形コンクリートブロックが、多量に使用されるようになった。この傾向は数年前から諸外国においても見られるようになったが、とくにわが国においては、

① 大きな波浪に曝された防波堤が非常に多いこと、
② 深い水深における埋立地の造成が非常に盛んであること、

③ 大きな捨石を多量に入手することが困難で、したがって価格が高いこと、

④ 強い波浪に曝された海岸線が長いこと、
などの特殊な事情によって、世界でも最も多くの種類の異形コンクリートブロックが、しかも最も多量に使用されるようになった。したがって異形コンクリートブロックに関する基礎的知識、および実施上の技術も最も進んでいるといつて差し支えないであろう。

大洋に面した海岸線が長いアメリカ、ノールウェイなどにおいては大きな捨石が多量に比較的安価に入手できるので、異形コンクリートブロックの使用量は比較的少なく、時々ハリケーンに見舞われるマルセイユ港（フランス）、ゼノバ港（イタリア）などの大防波堤の被覆には、今日なお 40～60 t の巨大な直方体のコンクリートブロックを多量に使用している状態である。

現在わが国の港湾、海岸、河川などに数種の異形コンクリートブロックが、消波用あるいは水流の減勢用に使用されているが、これらのブロックは消波能力あるいは安定性においてそれぞれ優れた特長を持っている。しかしさらに進んで従来の異形コンクリートブロックよりも消波能力および安定性において優れたコンクリートブロックを開発するため諸種の実験を行ってきたが、最近ほぼこの目的にかなった異形ブロックを造ることができたので、ここにその概要を発表する。

2. 合掌ブロックの形状および寸法

新しく開発した合掌ブロックは図-1 に示すごとく、3本の柱を交差してできている。図-2 は形状寸法、表-1 は1個の重量が 0.5～6.0 t ブロックの寸法表である。図-3 はこのブロックを1層積にした状態を示す。このブロックの特徴は図-4 に示すように、使用目的に応じて（たとえば安定性を必要とするときは相互のかみ合せをよくするために密に積み、とくに消波効果を期待するときは粗に積むなど）縦、横方向の据付間隔を変

図-1 合掌ブロック 2 t

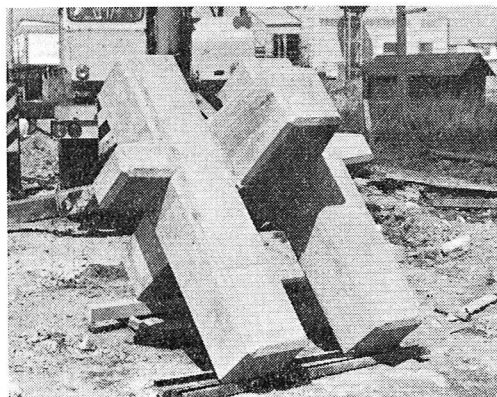
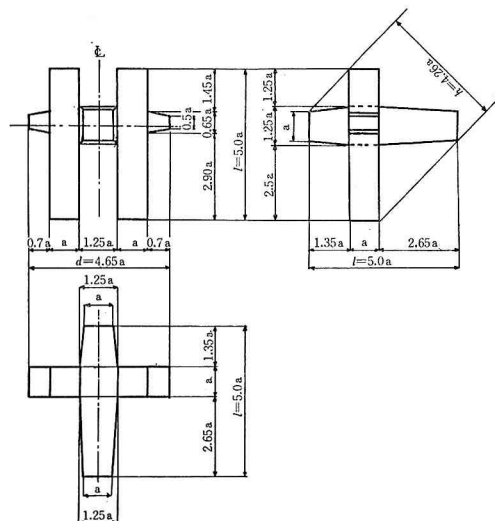


図-2 合掌ブロックの形状寸法



* 土木学会第 23 回年次学術講演会において一部発表

** 正会員 工博 大阪市立大学教授 土木工学科

*** 正会員 工修 同 助手 同

**** 正会員 元大阪市立大学助手

表-1 合掌ブロックの寸法および諸元

		形式 係数	0.5 t	1.0 t	2.0 t	3.0 t	4.0 t	5.0 t	6.0 t
a	(m)	1.00 a	0.230	0.300	0.370	0.420	0.470	0.500	0.530
d	(m)	4.65 a	1.070	1.395	1.721	1.953	2.186	2.325	2.465
l	(m)	5.00 a	1.150	1.500	1.850	2.100	2.350	2.500	2.650
h	(m)	4.26 a	0.980	1.278	1.576	1.789	2.002	2.100	2.258
コンクリート体積(m ³)		17.45 a^3	0.212	0.471	0.884	1.293	1.812	2.181	2.598
重量 (t)		40.135 a^3	0.488	1.084	2.033	2.974	4.167	5.017	5.975
型わく面積 (m ²)		60.41 a^2	3.20	5.44	8.27	10.66	13.35	15.10	16.97

図-3 合掌ブロック正層1層積

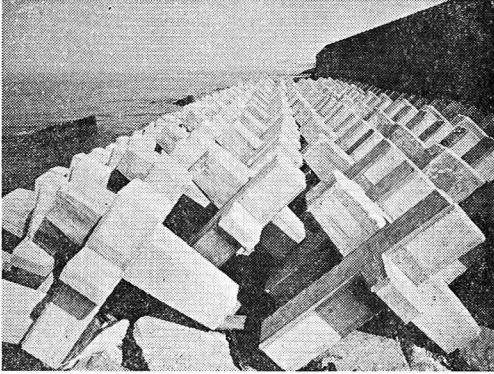
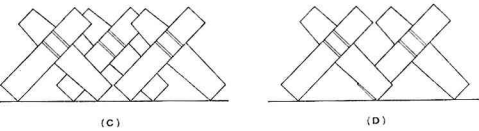
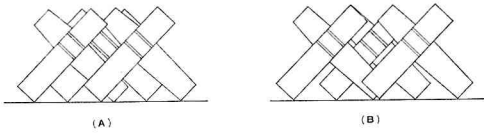
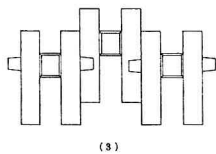
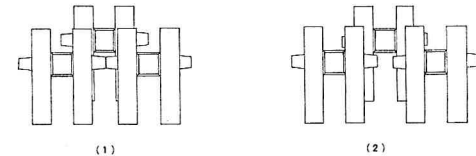


図-4 ブロック据付方法

横断方向



延長方向



縦・横方向の据付間隔を変えた場合の所要個数と空率の概算(100m²以内)

型式	据付間隔(m)	A	B	C	D
2.0 t	1	105(41%)	81(55%)	60(66%)	48(73%)
	2	80(50%)	66(63%)	48(72%)	—
	3	75(58%)	56(67%)	—	—
4.0 t	1	61(42%)	50(55%)	37(66%)	30(79%)
	2	55(50%)	41(63%)	31(72%)	—
	3	46(58%)	36(67%)	—	—
6.0 t	1	50(42%)	39(55%)	29(67%)	24(72%)
	2	42(52%)	32(63%)	25(71%)	—
	3	36(58%)	28(68%)	—	—

() 内は空率

3. 合掌ブロックの安定性

(1) 実験方法

異形ブロックの安定性を定量的に表わす一つの目安としてハドソン式中の K_d が用いられる。

$$W = \frac{w_r \cdot H^3}{K_d (w_r / w_0 - 1)^3 \cot \theta}$$

ただし、

W : ブロック重量 (t)

H : 設計波高 (m)

w_r : ブロックの単位体積重量 (t/m³)

w_0 : 水の単位体積重量 (t/m³)

θ : 堤のり面が水平面となす角

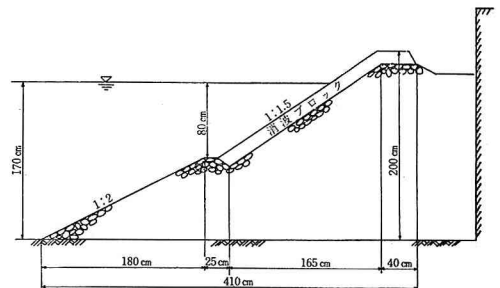
K_d : ブロックの種類による安定係数

上式では係数 K_d が大きいほどブロックの安定性が良い。

実験は合掌ブロック 6 t の 1/20 模型および 2 t の 1/10 模型をモルタルで作製、大型水槽 (長さ 60 m, 幅 10 m, 深さ 2.5 m) および風洞付波浪水槽 (長さ 50 m, 幅 1.0 m, 深さ 1.65 m) で安定性を調べた。

実験波浪は現地に換算して、波高 $H_p = 2.0 \sim 9.0$ m, 周期 $T_p = 6.0 \sim 13.0$ sec, 波形勾配 $H/L = 0.020 \sim 0.070$ である。実験断面は 図-5 に示すとおりで、のり勾配は 1:1.5 とし、正層積および乱積の場合について実験を行なった。正層積の場合、実際に施工される場合を考慮してブロック相互の間隔を広げて一番密に積んだ場合の 62~79% にブロック個数を減じた。

図-5 安定性実験の断面図
(大型水槽、現地に対する実験縮尺 1/10)



(2) 実験結果と考察

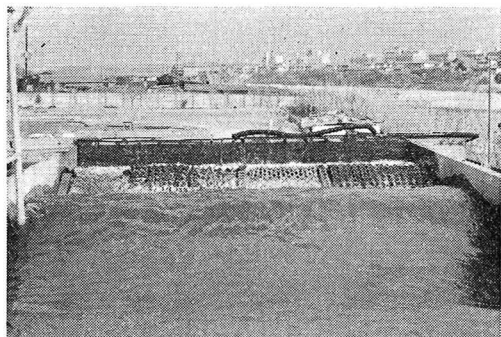
実験結果は表-2 に示すごとくである。図-6 は大型

え、所要個数と空げき率を変えることができることである。また従来使用されてきた消波ブロックは一般に2層積であるが、合掌ブロックは1層積によって従来のブロックの2層積に劣らぬ消波能力を持っていて、しかも安定性がきわめて良いことである。

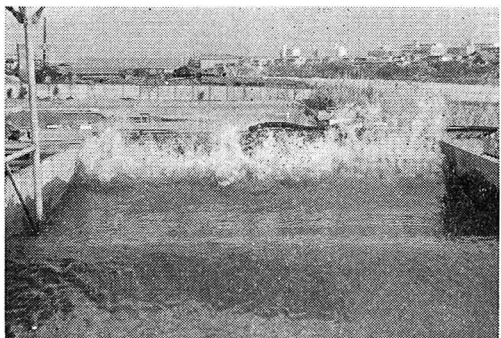
図一6 大型水槽における安定実験状況

実験条件: 周期 $T_p=8.0 \text{ sec}$ 波高 $H_p=5.0 \text{ m}$

(a) 波の衝突前

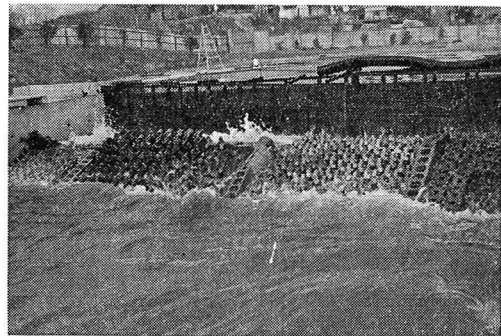


(b) 波が衝突したとき



(c) 波が衝突した直後

合掌ブロック 0.75t 移動 三柱ブロック 6t 安定 テトラポッド 1.5t 転落 合掌ブロック 2t 安定 ホロースケア 2t 転落



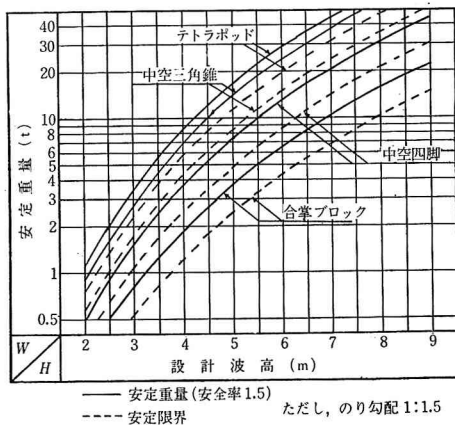
表一2 各種ブロック安定実験 (1:1.5 勾配)

100 m ² 当りの個数	密度 (%)	空げき率 (%)	波 の 特 性			K_d	
			H_p (m)	T_p (sec)	H/L		
合掌ブロック 2.0 t 正層積 1 層 (大型水槽 1/10 実験)							
82	78	54	5.0	8.0	0.059	50以上	安定
65	62	64	5.0	8.0	0.059	50以上	安定
55	52	69	5.0	8.0	0.059	50以上	安定
合掌ブロック 6.0 t 正層積 1 層 (風洞水槽, 大型水槽 1/20 実験)							
39	78	55	8.4	11.2	0.050	80	安定
31	62	64	8.4	11.2	0.050	80	安定
31	62	64	9.0	11.2	0.053	90	移動
合掌ブロック 6.0 t 乱積 (風洞水槽 1/20 実験)							
32	64	63	5.6	10.0	0.050	23	安定
32	64	63	6.0	10.0	0.054	28	移動
テトラポッド 2.0 t 正層積 2 層 (大型水槽 1/10 実験)							
94	—	52	2.6	8.0	0.031	7	安定
94	—	52	3.0	8.0	0.035	11	移動
中空三角錐 6.0 t 正層積 2 層 (大型水槽 1/20 実験)							
42	—	66	4.0	8.5	0.037	9	安定
42	—	66	4.4	8.5	0.041	11	転落
中空四脚ブロック 2.0 t 正層積 2 層 (大型水槽 1/10 実験)							
93	—	49	3.4	8.0	0.040	16	安定
93	—	49	3.8	8.0	0.045	22	転落
三柱ブロック 6.0 t 正層積 1 層 (大型水槽 1/20 実験)							
32	95	60	7.5	11.2	0.045	60	安定
32	95	60	8.4	11.2	0.050	80	移動

図一7 各種消波ブロックの安定重量

ブロックの種類	積 方	K_d	安定限界	安定重量 (安全率1.5)
合 掌 ブ ロ ッ ク	正層積	40以上	$W=0.02 H^3$	$W=0.03 H^3$
	乱 積	23	$W=0.03 H^3$	$W=0.05 H^3$
中 空 四 脚 ブ ロ ッ ク	正層積	20	$W=0.04 H^3$	$W=0.06 H^3$
中 空 三 角 錐 ブ ロ ッ ク	正層積	11	$W=0.07 H^3$	$W=0.11 H^3$
テ ト ラ ポ ッ ド	正層積	9	$W=0.09 H^3$	$W=0.13 H^3$

W: ブロック1個の重量 (t) H: 設計波高 (m)



水槽で行なった安定実験の一例を示す。この実験は現地に換算した波の周期 $T_p=8.0 \text{ sec}$, 波高 $H_p=5.0 \text{ m}$ のときである。表一2 はこのような実験をたびたび行なって得た結果である。表一2 より合掌ブロック 6 t 正層 1 層積は現地に換算した波の波高 8.4 m まで十分安定であった。この場合ハドソン式の K_d は 80 である。今回の実験で求めた他のブロックの K_d の値は同表に示すごとく、いままで当実験水槽で得られた値とほぼ同じであって、テトラポッド $K_d=8\sim9.5$, 中空三角錐ブロック $K_d=11$, ホロースケア $K_d=20$ であった。乱積の場合には合掌ブロックの K_d はほぼ 23 である。他の異形

ブロックの乱積の K_d の値はそれぞれテトラポッド $K_d=6.6$, 中空三角錐ブロック $K_d=7.6$ である。

これらの実験結果を参考にして各種ブロックの安定重

量を求めたのが 図-7 である。図中の安定限界というの
は、移動あるいは転落したブロックの数が積んでいるブ
ロックの 1% 以下である場合をさす。移動とは前後左右
に大きく動揺したり、転倒したり、ずれた場合をさし、
転落とは転がり落ちた場合をさす。安定限界重量に 1.5
の安全率をとったものが安定重量である。

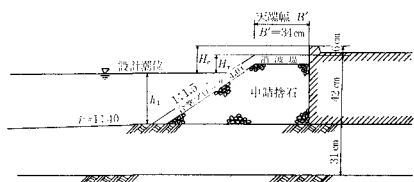
4. 合掌ブロックの消波効果

(1) 実験方法

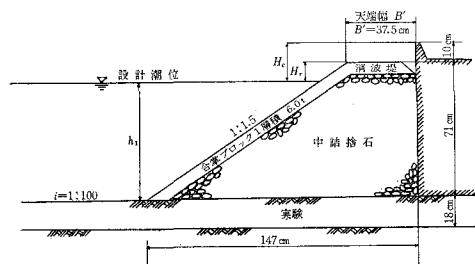
異形ブロックの消波効果は、おもに越波量の多少によって判断される。この越波量は、侵入波が消波堤に対してどの位置で碎けるかによって大きく3つの領域（沖側碎波の領域、のり先碎波の領域、のり面碎波の領域）に分類される。消波堤の被覆ブロックとして合掌ブロックを用い、これら3つの領域に対する消波効果を調べた。

実験には、風洞付波浪水槽を用いた。実験を行なった消波堤断面を 図—8, 9 に示す。図—8 は消波堤を浅い水深に設置した場合を示す。この断面で沖側、のり先、のり面破波の 3 領域の実験を行なった。図—9 は深い水深に設置した場合で、のり面碎波の領域の実験を行なった。それぞれの実験条件を 表—3 に示す。消波堤ののり

図—8 浅い水深における消波堤実験断面図
(実験縮尺: 1/7.5)



図—9 深い水深における消波堤実験断面図
(実験縮尺: 1/20)



表—3 实 驗 条 件

条 件	前面水深	浅 い 場 合	深 い 場 合
前 面 水 深	h_1 (m)	3.0~6.0	8.0~14.0
実験に用いた ブロック重量	(t)	4.0	6.0
天 端 幅	B' (m)	6.0	7.5
周 期	T_p (sec)	6.0~10	6.0~13
波 高	H_p (m)	2.5~5.0	3.5~5.0
砕 波 領 域		のり面, のり先, 沖側	のり面

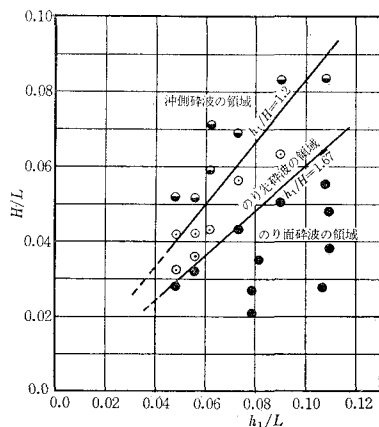
勾配はいずれも 1 割 5 分で、合掌ブロック 1 層積とした。消波堤内の中詰捨石は平均径 $d_m=3.5$ cm の砕石を用いた。

なお比較のためテトラポッド、中空三角錐ブロック、中空 N_1 型、 N_2 型を正層 2 層積にして同一断面で実験を行なった。

(2) 実験結果と考察

実験を行なった波浪特性を 図-10 に示す。侵入波が消波堤に対してどの位置に碎けるかを図中に示す。この図より、上記 3 つの領域を分類すると大体つぎの値になる。

图—10 波浪特性



沖側碎波の領域	$h_1/H < 1.2$
のり先碎波の "	$1.2 \leq h_1/H \leq 1.7$
のり面碎波の "	$h_1/H > 1.7$

図一11 (1~3) は、それぞれ沖側、のり先、のり面砕波の実験状況を示す。実験条件は、前面水深 h_1 が異なり、周期 T_p 、波高 H_p 、設計潮位上護岸高さ H_c 、消波堤天端高さ H_r は同じである。それぞれの (a) は波の破ける状況を、(b) は越波状況を示す。図一11 からのり先砕波の領域の越波量が多く、ついでのり面砕波、沖側砕波の順である。

図-12 (1~3) は相対越波量 q_i/q_0 (q_i : 実測値, $q_0 = HL/2\pi$) をパラメーターとし, H_c/H , H_r/H との関係 をそれぞれ沖側碎波, のり先碎波, のり面碎波の場合に ついて求めたものである。図-12 (3) は浅い場合と深 い場合の両方の実験結果を含む。

図中の曲線は、文献 5) において、中空四脚ブロック 2t を用いて得られたものである。

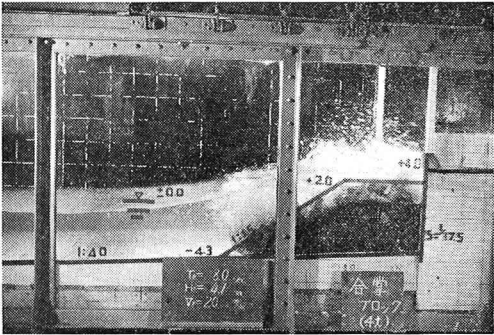
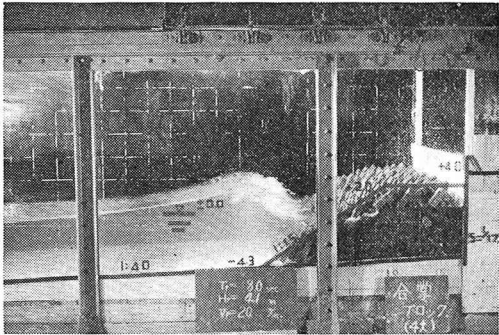
文献 6) において、 q_i/q_0 と H_c/H , H_r/H のグラフにおいて、のり面砕波領域に適用する次式を提案した。

$$\frac{H_c}{H} + \frac{H_r}{H} = c \dots\dots\dots (1)$$

ただし、定数 c は消波ブロックの種類と q_i/q_0 によって変わる。

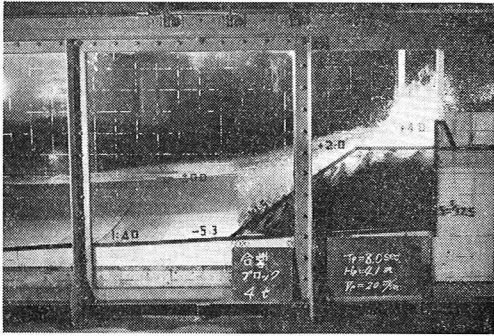
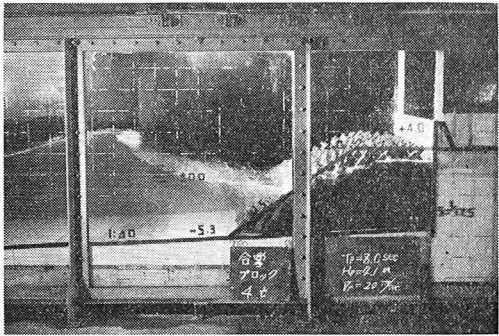
図-11 消波実験状況

実験条件: $T_p=8.0 \text{ sec}$ $H_p=4.0\sim 4.1 \text{ m}$ $H_c=4.0 \text{ m}$ $H_r=2.0 \text{ m}$ $h_{1p}=-4.3\sim -12.6 \text{ m}$
(1) 沖側砕波 ($h_{1p}=-4.3 \text{ m}$)
 $h_i/H=1.05$ $H_c/H=0.98$ $H_r/H=0.49$ $q_{-i}/q_0=4.7\times 10^{-4}$
(a) (b)



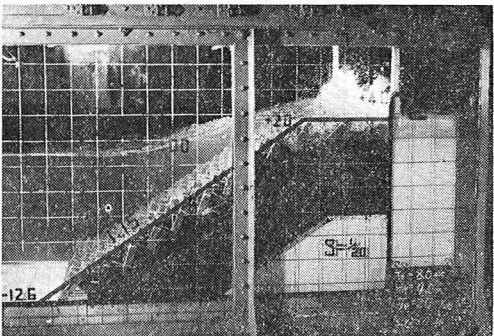
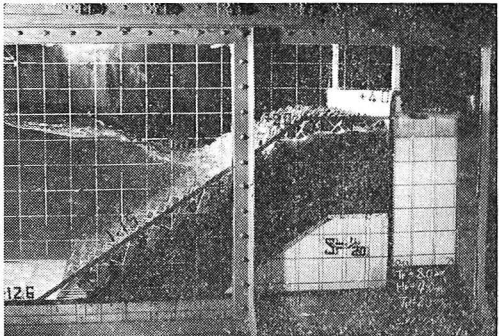
(2) のり先砕波 ($h_{1p}=-5.3 \text{ m}$)

$h_i/H=1.29$ $H_c/H=0.98$ $H_r/H=0.49$ $q_i/q_0=5.0\times 10^{-8}$
(a) (b)



(3) のり面砕波 ($h_{1p}=-12.6 \text{ m}$)

$h_i/H=3.15$ $H_c/H=1.00$ $H_r/H=0.50$ $q_i/q_0=3.6\times 10^{-8}$
(a) (b)



今回行った、沖側、のり先砕波の領域をも含めた実験式として新たに次式を提案する。

$$\frac{H_c}{H} + a \frac{H_r}{H} = c \dots\dots\dots (2)$$

ただし、定数 a は消波ブロックの種類と砕波領域によって変化する。

図-12 (1~3) より合掌ブロックの実験係数 a, c を求めると、表-4 のとおりである。中空 N_1 型、 N_3 型

ブロックの係数は文献 6) による。合掌ブロックは中空 N_1 型と N_3 型の中間に位置している。

図-13 は深い水深の同一消波堤断面において、各種ブロック 6 t の消波効果を比較したものである。図-13 より合掌ブロックは正層 1 層積で、他の消波ブロック正層 2 層積と劣らない消波能力をもっていることがわかる。

図-14 は、合掌ブロックの正層積と乱積の比較であ

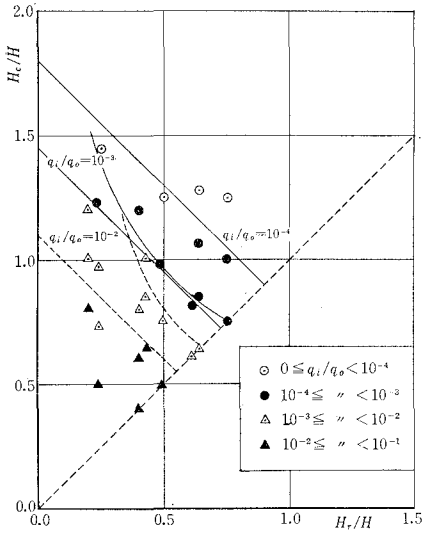
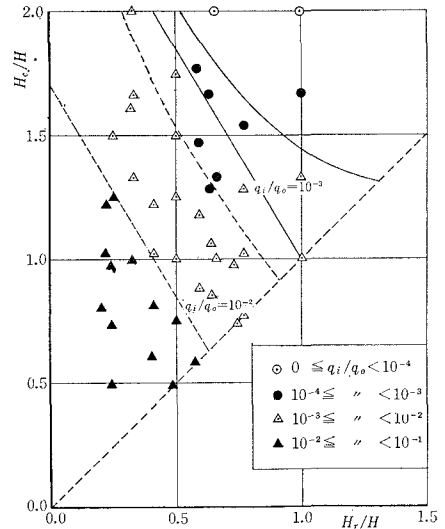
図-12 H_c/H と H_r/H との関係(合掌ブロック)(1) 沖側砕波 ($h_l/H < 1.2$)(2) のり先砕波 ($1.2 \leq h_l/H \leq 1.7$)

図-13 各種消波ブロックの比較

ブロックの種類	諸元	ブロック重量	積方(正層)	100 m ² 当りの個数	空げき率
人	テトラポッド	6.0 t	2層積	42 個	52%
△	中空三角錐	6.0 "	2 "	42 "	66 "
N ₁	中空 N ₁ 型ブロック	6.0 "	2 "	45 "	53 "
N ₃	中空 N ₃ 型ブロック	6.0 "	2 "	49 "	61 "
×	合掌ブロック	6.0 "	1 "	31 "	63 "

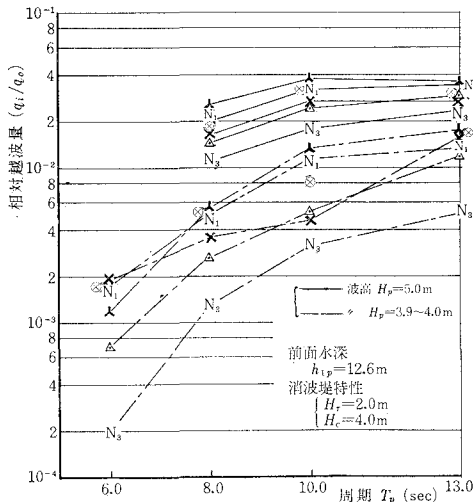


表-4 実験係数

$$\frac{H_c}{H} + a \frac{H_r}{H} = c$$

ブロックの種類	砕波領域	勾配	定数 c			
			$qi/q_0 = 10^{-4}$	$qi/q_0 = 10^{-3}$	$qi/q_0 = 5 \times 10^{-3}$	$qi/q_0 = 10^{-2}$
合掌ブロック	沖側砕波	1.0	1.8	1.45	1.2	1.1
	のり先砕波	1.7	—	2.7	2.0	1.7
	のり面砕波	1.0	2.4	1.9	1.65	1.5
中空 N ₁ 型ブロック	"	1.0	2.5	2.0	1.75	1.6
中空 N ₃ 型ブロック	"	1.0	2.3	1.8	1.55	1.4

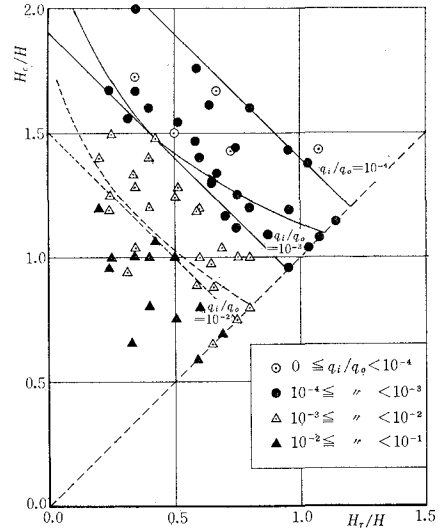
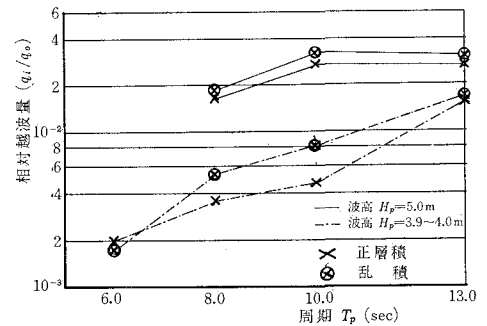
(3) のり面砕波 ($h_l/H > 1.7$)

図-14 合掌ブロック正層積と乱積の比較

前面水深: $h_p = 12.6$ m 消波堤特性: $H_r = 2.0$ m, $H_c = 4.0$ m

諸元	積方	ブロック重量	100 m ² 当りの個数	空げき率
合掌ブロック	正層1層	6.0 t	31 個	63%
	乱積1層	6.0 t	31 個	63%

る。乱積の場合でも消波能力は正層積とほぼ同じであることがわかる。

5. 結 論

以上の検討の結果、合掌ブロックの主な特徴をあげるとつぎのごとくである。

(1) 合掌ブロックは正層積および乱積、いずれの場合にもブロック相互のかみ合せが強固であるので転倒に対してきわめて安全である。また脚が捨石にくい込むので滑動に対してもきわめて安全である。

(2) 合掌ブロックは正層 1 層積で他の消波ブロックの正層 2 層積に劣らない消波能力をもっている。乱積の場合でも消波能力は正層積とほぼ同じである。表-4 より、許容越波量に対する設計潮位上の護岸の天端高さ H_o 、消波堤の天端高さ H_r を求めることができる。

(3) 合掌ブロックは 1 層積で安定性、消波効果が良

いので、使用個数が少なくすむ。また安定性を必要とするときは密に積み、とくに消波効果を期待するときは、粗に積むことによって使用目的に合った積み方ができる。

参 考 文 献

- 1) 永井莊七郎：消波用中空ブロックに関する研究，第 6 回海岸工学講演集，1959.11.
- 2) 永井・上田：風と波を考慮した海岸堤防の形状と構造に関する研究，第 7 回海岸工学講演集，1960.11.
- 3) 永井・玉井・上田・高田：新しい消波用コンクリートブロックに関する研究，第 8 回海岸工学講演集，1961.9.
- 4) 永井・久保・玉井・上田：防波堤 および 海岸堤防前面におかれた消波ブロックの効果について，第 8 回海岸工学講演集，1961.9.
- 5) 永井・高田：海岸堤防の越波におよぼす消波堤の効果，第 11 回海岸工学講演集，1964.11.
- 6) 永井・大坪・速藤：深い水深における消波堤に関する研究，第 14 回海岸工学講演集，1967.10.
- 7) 土木学会文献調査委員会：消波用異形ブロック，土木学会誌，Vol. 49, No. 4, 1964.