

施工段階における消波工の波圧減殺効果に関する実験的研究

鴻 上 雄 三*・時 川 和 夫**

要 旨 本論文においては、防波堤前面に異形コンクリートブロックの消波工を設置する場合に、その形状やブロックの種類によって、防波堤に作用する波圧分布や合力がどのように変化し減殺されるかということについて検討し、最大波圧合力を与える実験式を導いた。作用波圧は消波工の形状だけでなく、防波堤の天端高によってかなり変化し、またブロックの種類によっても、侵入波の周期と消波工の天端幅によって、特徴ある変化をすることがわかった。

1. ま え が き

防波堤に作用する波の圧力は、これまで多くの人々により研究されており、現在、設計基準にとりあげられているものに、重複波圧に関してサンフルー式、砕波圧に関して広井、ミニキン、本間、永井などの式がある。

しかしながら実際の防波堤施工に当たっては、前面の海底や地形の条件、およびマウンドの形状やケーソン天端高など構造的条件がそれぞれ異なっているために、上記の波圧式の適用範囲が不明確で、技術者の経験に頼るところが多い。また防波堤前面に消波工（異形コンクリートブロック）を設置した場合は、その形状（天端高、天端幅）や使用するブロックの種類によって、波圧の分布、およびその合力がいかに変化するかということも明確にされていない。この報文は消波工の施工に伴って防波堤に作用する波圧がどのように変化するかを実験的に調べ¹⁾²⁾、二、三の消波ブロックの効果について比較検討を加えたものである。

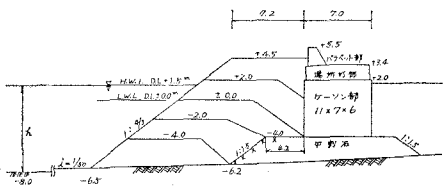
2. 実験装置および実験方法

実験に用いた水槽は、長さ 28.0 m、幅 0.8 m、深さ 0.8 m の両面ガラス張り、造波装置はペンデュラム型である。実験は縮尺 1/20 で行ない、使用した波の諸元は表一に示すとおりである。防波堤の模型は木製で、水槽床面にねじ止め固定した。また消波工は重量 $W_p=12, 14, 16$ t/個の異形コンクリートブロック乱積みで作り、その空けき率は 55~60% である。侵入波高は防波堤前面より 10, 7.5 m ($l_p=200, 150$ m)、港内波高は防

表一 実験に使用した波の諸元（現地換算値）

No	T_p (sec)	H_p (m)	L_p (m)	H/L	h/L
1	6.0	3.0	50	0.06	0.19
2	6.0	4.0	50	0.08	0.19
3	8.0	3.0	70	0.04	0.13
4	8.0	4.0	70	0.06	0.13
5	8.0	5.0	70	0.07	0.13
6	10.0	3.0	100	0.03	0.09
7	10.0	4.0	100	0.04	0.09
8	10.0	5.0	100	0.05	0.09
9	14.0	3.0	140	0.02	0.07
10	14.0	4.0	140	0.03	0.07
11	14.0	5.0	140	0.04	0.07

波堤より 2.5 m ($l_p=50$ m) 離れた位置に、それぞれ電気抵抗線式のピックアップを設置して測定した。また波圧計は受圧面の直径が 20 mm ($r_p=40$ cm) のフラットなもので、水中の固有振動数が 1 050~1 100 c/s の範囲にあるものを使用した。実験資料の整理については、第 1 波より起波板からの再反射波が入るまでの間の波について、連続 3 波の最大同時波圧の平均を原則にして読み取り、ばらつきの多いものは、ブロックの並べ方を変えて、数回測定をくり返し、その平均を代表値とした。実験に用いた防波堤および消波工の断面は図一に示すとおりである。



図一 防波堤および消波工の断面図

3. 最大同時波圧の強度と分布型

最大同時波圧の分布の一部を示すと図二~図六のとおりである。上図は周期 $T_p=8.0$ sec、波高 $H_p=5.0$ m、波長 $L_p=75$ m、潮位 H. W. L. (D. L. +1.5 m) の場合で、図二、三、四は消波工にブロック A を使用した場合にそれぞれ防波堤の天端高を +2.0 m（ケーソン部施工）、+3.4 m（場所打ちコンクリート部施工）、+5.5 m（パラベット部施工）の 3 段階にしたときの最大同時波圧分布を示している。図中 P_m ：波圧合力実験値、 P_s ：サンフルーの簡略式による重複波圧計算値である。図一

* 正会員 北海道開発局土木試験所 港湾研究室長
** 正会員 工修 北海道開発局土木試験所 港湾研究室主任研究員

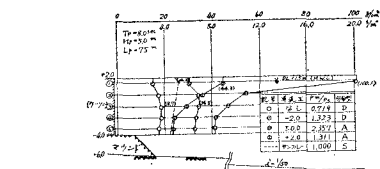


図-2 ケーソン部施工の場合の最大同時波圧分布 (ブロックA)

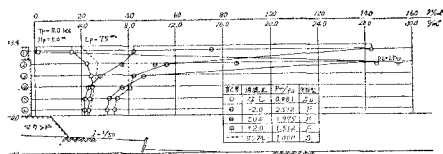


図-3 場所打ち部施工の場合の最大同時波圧分布 (ブロックA)

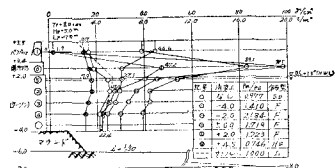


図-4 パラペット部施工の場合の最大同時波圧分布 (ブロックA)

5, 6 はそれぞれブロックBおよびCの場合に防波堤の天端高を +5.5m にしたときの波圧分布図である。

著者らは防波堤本体に作用する最大同時波圧の分布型を便宜的に表-2 に示すとおり6個のパターンに分類した。A, C, F 型は防波堤直前(消波工天端上)で碎波して衝突する場合に, D, H, S 型は重複波および部分重複波の場合に発生する。C型は, 上記断面の消波工においては見られなかったが, 消波工天端高が $\pm 0.0\text{m}$ で, 天端幅を $1/2 \sim 1/3$ にした断面④の場合(図-14 参照)に発生した。F型は従来の波圧公式には見られなかったも

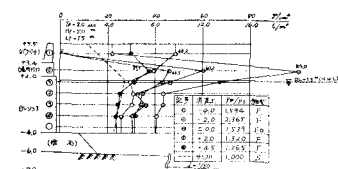


図-5 パラペット部施工の場合の最大同時波圧分布 (ブロックB)

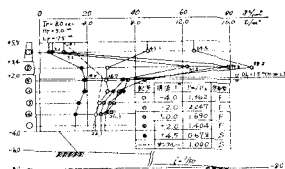


図-6 パラペット部施工の場合の最大同時波圧分布 (ブロックC)

表-2 最大同時波圧の分布型の分類

波圧分布型	波圧強度の最大が生じる位置 z	$z = \beta h_1$	波圧強度の最大値 $P_{\max}/w_0 H$	波圧合力の最大値 $P_{\max}/P_s$
A型	静水面上	$\beta = \pm 0.0$	$P_{\max}/w_0 H = 5.9$	$P_{\max}/P_s = 2.4$
C型	消波工天端上	-1.0	4.5	1.8
D型	静水面と消波工天端の中間	$-0.2 \sim -0.5$	1.5	1.3
F型	静水面より上方	$+0.2 \sim +0.5$	6.0	2.5
H型	波圧分布がほぼ一様	$-1.0 \sim +0.5$	1.4	1.3
S型	サンブルー型波圧	± 0.0	1.3	1.1

ので, これは比較的天端幅の大きい消波工を設置した防波堤に発生することが認められた。

4. 実験結果の考察

(1) 防波堤および消波工の天端高が波圧におよぼす影響

一連の実験波の中で, 作用波圧力が大きい波高 $H_p = 5.0\text{m}$ の場合について, 周期が $T_p = 8.0, 10.0, 14.0\text{sec}$ の場合の防波堤と消波工の天端高による波圧の変化を調べると, 図-7, 8, 9 のとおりである。図-7 はブロックAに関するもので, 防波堤の天端高がケーソン部まで施工, 場所打ちコンクリート部まで施工およびパラペット部まで施工の3段階について, 波圧と消波工の天端高の関係を無次元表示したものである。図中, R : 静水面より防波堤天端までの高さ, H : 侵入波高, h_1 : 消波工天端上の水深, h_2 : 消波工の先水深である。図-8, 9 は, それぞれブロックBおよびCの場合の結果である。これらの図より防波堤に作用する波圧は, 長周期の波 ($T_p = 14.0\text{sec}$) については, 防波堤および消波工の天端高の変化に対してもほぼ一定値で, $0.52 \leq P_m/P_s < 0.85$ となる。しかし $T_p = 10.0\text{sec}, 8.0\text{sec}$ の波については, 防波堤および消波工の天端高が大きく影響することがわかる。図-7 の場合について見ると, ケーソン部施工の段階における波圧の最大は, 消波工の天端高が $h_1/h_2 \div 0.2$ 付近で生じ, $P_m/P_s = 2.35$ となる。また波圧強度の最大は $P_{\max}/w_0 H = 4.36$ で, ケーソン部天端付近に発生する。しかし場所打ちコンクリート部施工の段階においては, 波圧の最大は $h_1/h_2 \div 0.45$ 付近に生じ $P_m/P_s =$

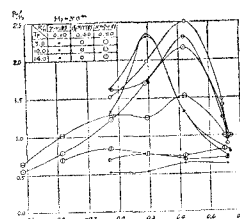


図-7 消波工天端高と作用波圧の関係(ブロックA)

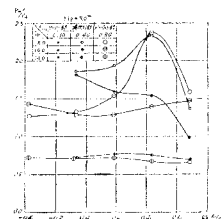


図-8 消波工天端高と作用波圧の関係(ブロックB)

2.51, 波圧強度の最大は $P_{\max}/w_0H=5.95$ で場所打部天端付近に発生する。パラペット部施工の段階においては, 最大波圧は $h_1/h_2 \div 0.45$ 付近に生じ, $P_m/P_s=2.17$, 波圧強度の最大は $P_{\max}/w_0H=3.90$ で場所打部付近に発生する。

全般的に見ると, $h_1/h_2 > 0$ (消波工の天端が静水面下にある場合) では $T_p=8.0$ sec の波の波圧が大きくなり, $h_1/h_2 < 0$ (消波工の天端が静水面上にある場合) では, $T_p=10.0$ sec の波の波圧のほうが大きくなる傾向がある。また消波工の波圧減殺効果は, 周期が短い波 ($T_p=6.0 \sim 8.0$ sec) ほどよく現われて³⁾, $h_1/h_2 < 0.4$ では消波工の天端を高くするにつれて波圧は減衰する。このように防波堤に作用する波圧は, 前面に設置される消波工の形状が同じでも, 防波堤の天端高によって大きく変化することがわかる。

(2) 消波工の形状と波圧合力および分布型の変化

防波堤天端高が, ケーソン部の場合 ($R/H=0.09 \sim 0.19$), 場所打ちコンクリート部の場合 ($R/H=0.35 \sim 0.71$), およびパラペット部の場合 ($R/H=0.80 \sim 1.60$) について, 波圧合力と消波工天端高, 天端幅 B' (防波堤前壁と消波工前のり肩との水平距離) および侵入波の波長 L との関係を図-10, 11, 12に示すとおりである。図中には波圧分布型

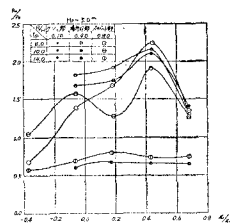


図-9 消波工天端高と作用波圧の関係 (ブロックC)

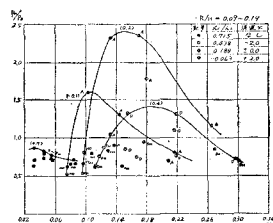


図-10 消波工天端幅と作用波圧の関係(ケーソン部施工) (ブロックB)

および消波工天端高 h_1/h_2 の値も記入してある。一般的に作用する波圧の合力が大きくなるのは防波堤を場所打ちコンクリート部まで施工した場合で, 消波工天端高が $h_1/h_2 \div 0.4$, 天端幅 $B'/L \div 0.18$ 付近において波圧の最大値が生じ, (P_m/P_s)_{max}=2.51 となり, この時の波圧分布型は F 型である。パラペット部まで施工した場合は, 上記の場合と同じ消波工形状, すなわち $h_1/h_2 \div 0.4$, $B'/L \div 0.18$ 付近で

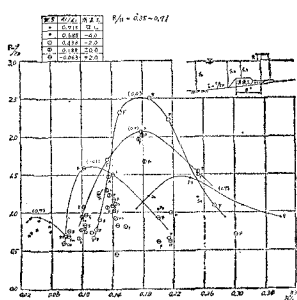


図-11 消波工天端幅と作用波圧の関係(場所打部施工) (ブロックA)

波圧が最大値になるが, その値はいくぶん小さく (P_m/P_s)_{max}=2.18 となり, この時の分布型は F 型となる。しかし, ケーソン部まで施工した場合は, $h_1/h_2 \div 0.2$, $B'/L \div 0.15$ 付近で最大となり, (P_m/P_s)_{max}=2.35, この時の分布型は A 型になる。実験に使用した一連の波について分布型の変

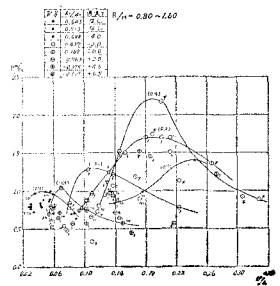


図-12 消波工天端幅と作用波圧の関係 (パラペット部施工) (ブロックA)

化を調べると, 防波堤の天端高が $R/H=0.09 \sim 0.19$ から $0.35 \sim 0.71$ および $0.80 \sim 1.60$ に変化すると, $h_1/h_2 \div 0.2$ の場合は A 型が F 型および A 型に, $h_1/h_2 \div 0.4$ の場合は D 型が F 型に, $h_1/h_2 \div -0.1$ の場合は A 型が F 型に変化する。また重複波の領域にある波については, D 型が S 型に, H 型が S 型に変化する。このことは防波堤の天端が高くなることによって, それまで背後に越波していた水塊が防波堤前面に残存する傾向が生じ, また天端幅が比較的に広い消波工を設置した場合は, 引き波によって沖側に引き戻される水塊がブロックの抵抗で妨げられるために前述の傾向がますます強められて, 防波堤前面の水面が上昇し, 波圧強度の最大が静水面より上方に発生することになると解釈される^{3), 4)}。この限界の防波堤天端高は上述の結果より $R/H \div 0.25$ 前後と考えられ, 消波工天端幅は, $B'/L > 0.13$ の場合に多く発生する。波圧強度の最大が生じる位置は 静水面上 ($0.2 \sim 0.5$) h_1 となる。

全般的に見ると, 波圧合力は, 各ブロックを通じて $R/H=0.09 \sim 0.19$ の場合は, $h_1/h_2 \div 0.19$, $B'/L=0.120 \sim 0.203$ の時に, $R/H=0.35 \sim 0.71$ の場合は, $h_1/h_2 \div 0.44$, $B'/L=0.184 \sim 0.225$ の時に, $R/H=0.75 \sim 1.60$ の場合は, $h_1/h_2 \div 0.44$, $B'/L=0.175 \sim 0.211$ の時に, いずれも $P_m/P_s \geq 2.0$ となる。一連の実験波について見ると, 波圧合力が大きくなるのは $H/L=0.044 \sim 0.083$, $h/L=0.09 \sim 0.198$, $h_2/H=1.64 \sim 2.85$, $h_1/H=0.31 \sim 0.89$, $h/H=1.95 \sim 3.47$ の範囲にある場合で, $P_m/P_s \geq 1.5$ となる。

(3) 消波工の天端幅が波圧におよぼす効果

防波堤天端高が場所打ちコンクリート部の場合 ($R/H=0.35 \sim 0.71$) について, 消波工の天端幅と波圧の関係を調べると図-13 のとおりである。使用した消波工の断面を図-14に示す。いま $T_p=8.0$ sec, $H_p=5.0$ m の波が侵入した場合に, おおのこの消波工形状による波圧分布の相違を示すと 図-15 のとおりである。作用波圧の最大は断面② (上記実験の消波工 -2.0 m の場合と同じ断面) において生じており, $B'/L \div 0.18$ 付近で,

$(P_m/P_s)_{\max} = 2.51$ となる。いま $T_p = 6.0 \sim 10.0 \text{ sec}$ の波について、おのおの消波工断面に作用する波圧型の相違を見ると、断面①では、長周期の波ほど P_m/P_s の値は大きく、分布型は F 型となる。断面③および④では、短周期の波ほど消波工（マウンド）の影響を受けて P_m/P_s の値は大きく、分布型は A 型が多く、C 型、F 型が発生する。断面②は、消波工の

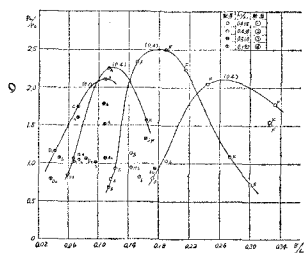


図-13 消波工天端幅の相違による作用波圧の変化（場所打部施工）（ブロック A 使用）



図-14 消波工の天端幅の影響を調べるために使用した消波工の断面図

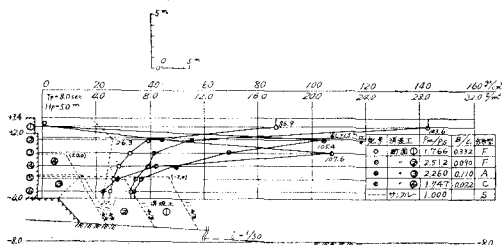


図-15 消波工天端幅の相違による最大同時波圧分布の変化

のり肩が位置するために、この影響を強く受けて、侵入波は激しく碎波して作用波圧はもっとも大きくなるものと考えられる。またこの時の最大同時波圧の分布型は F 型となる。上記の (2) で述べたことを含めて、消波工の天端幅と分布型の関係を調べると、一般的に A 型は $0.07 \leq B'/L \leq 0.18$, C 型は $B'/L \leq 0.08$, F 型は $B'/L \geq 0.10$ の場合に生じるようである。波圧合力の最大は、F 型で $(P_m/P_s)_{\max F} = 2.51$, (断面②), A 型で $(P_m/P_s)_{\max A} = 2.26$, (断面③), C 型で $(P_m/P_s)_{\max C} = 1.75$ (断面④) となる。

(4) 消波工の形状と最大波圧強度の関係

防波堤に作用する波圧強度の最大値（侵入波高 H に対する $P_{\max}$ の無次元量 $P_{\max}/w_0 H = \alpha$ ）と消波工天端幅 (B'/L) の関係を一連の実験について調べると図-16 のとおりである^{3), 6)}。 α の最大値は $\alpha_{\max} = 5.95$ で、消波工の天端幅が $B'/L \approx 0.18$ の近傍で発生する。この場合、のり先水深 h_2 との関係は $h_1/h_2 = 0.438$, $B'/h_2 =$

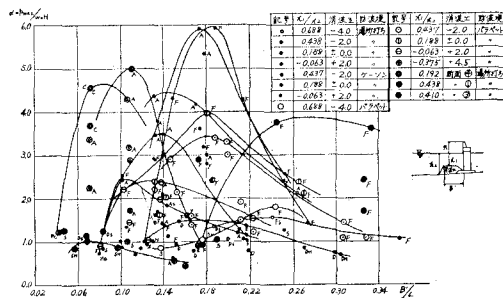


図-16 消波工天端幅と作用波圧強度の関係

1.98 , $h_2/H = 1.66$ である。一連の実験波について見ると、波圧強度が大きくなるのは、 $H/L = 0.044 \sim 0.082$, $h/L = 0.090 \sim 0.197$, $h_2/H = 1.64 \sim 1.98$, $B'/L = 0.072 \sim 0.214$ の範囲にある場合で $P_{\max}/w_0 H > 4.0$ となる。また α の最大は防波堤の天端高さにより異なり、場所打部施工の場合は A 型または F 型分布で $\alpha_{\max} \approx 6.0$, パラベット部施工の場合は F 型分布で $\alpha_{\max} \approx 4.0$ となり、いずれも $B'/L = 0.18$ 付近で発生する。しかし、ケーソン部施工の場合は A 型分布となって $\alpha_{\max} \approx 4.3$ で、 $B'/L \approx 0.14$ 付近に生じている。また防波堤パラベット部（静水面上 $0.4h_2$ ）における波圧強度の最大は $\alpha_{\max} = 3.0$ で、 $h_1/h_2 = 0.437$, $B'/L \approx 0.2$ 付近に生じている。

全般的に、F 型分布は $B'/L > 0.10$ で発生し、 $B'/L > 0.18$ の場合には h_1/h_2 にほとんど関係なしに生じる。防波堤の天端高の低い $R/H < 0.19$ の場合を除くと、A 型は $B'/L = 0.072 \sim 0.18$, $h_1/h_2 \leq 0.188$ の場合に、C 型は $B'/L \leq 0.072$, $h_1/h_2 \leq 0.192$ の場合に発生している。これらは上記 (3) の波圧合力の場合に対する傾向とほぼ同様である。

(5) 消波工を設置しない場合の防波堤天端高と波圧の関係

混成堤の基礎マウンドの形状を一定にした場合 ($h_1/h_2 = 0.65 \sim 0.73$) について、防波堤の天端高と波圧合力の関係を調べると、図-17 に示すとおりである。図中、B はマウンドの天端幅である。この図から R/H が大きくなるにしたがって P_m/P_s の値は大きくなるが、 $B/L \approx 0.08$ になると防波堤の天端高にかかわらず波合圧力は $P_m/P_s \approx 0.7$ 程度になるようである。また波圧分布型は R/H

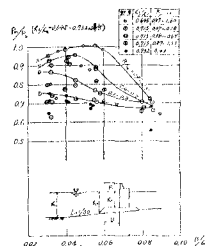


図-17 防波堤の天端高と作用波圧の関係

$= 0 \sim 0.2$ の場合は D 型であるが、 $R/H = 0.4 \sim 1.5$ の場合に S 型になる。一般的に波圧合力は、消波工を設置した場合より小さいが、これはマウンドの幅が小さくまた天端水深が深いため、前面における波は重複波および部分重複波の領域の波となるか

らである。すなわちマウンドの形状は、潮位の低い L. W. L. の場合で $h_1/H > 0.96$, $h_2/H > 1.37$ で、また波長の短い $T_p = 6.0 \text{ sec}$ の場合でも $B/L < 0.09$ となって、マウンドの影響をあまり受けない範囲にあるために、大きな波圧が作用しなかったものと考えられる⁵⁾。

(6) 2, 3 の異形ブロックの消波効果

3 種類のブロック A, B, C について、重量 $W_p = 12 \sim 16 \text{ t}$, 空げき率 $55 \sim 60\%$ の範囲で、同一断面に乱積みして行なったくり返し実験の結果、次のことがいえる。

1) 波圧合力の最大は、いずれのブロックも防波堤の天端高が場所打部まで施工された場合に、 $h_1/h_2 \div 0.44$, $B'/L \div 0.2$ 前後で生じ、その最大値はブロック A, B, C についてそれぞれ $(P_m/P_s)_{\max A} \div 2.51$, $(P_m/P_s)_{\max B} = 2.37$, $(P_m/P_s)_{\max C} = 2.25$ とほぼ同様の値である(いずれも $T_p = 8.0 \text{ sec}$, $H_p = 5.0 \text{ m}$ の波)。これはこの断面形状では、消波工というよりむしろマウンドとして影響していることを示しているものと考えられる。

2) 全般的に見ると、一連の実験波の中で、消波工の天端が静水面下にある場合 ($h_1/h_2 > 0$) は $T_p = 8.0 \text{ sec}$, $H_p = 5.0 \text{ m}$ の波の波圧が大きくなり、 $h_1/h_2 < 0$ の場合は、 $T_p = 10.0 \text{ sec}$, $H_p = 5.0 \text{ m}$ の波の波圧が大きくなる。この傾向はいずれのブロックについても同様である。

3) 消波工の天端を $+4.5 \text{ m}$ まで施工した完成断面 ($h_1/h_2 = -0.38$) の場合に、侵入波高 $H_p = 5.0 \text{ m}$, $T_p = 8.0 \sim 14.0 \text{ sec}$ の波の波圧合力は、ブロック A では $(P_m/P_s)_A = 0.70 \sim 1.00$, ブロック B では $(P_m/P_s)_B = 0.73 \sim 1.43$, ブロック C では $(P_m/P_s)_C = 0.57 \sim 1.05$ となる。すなわちブロック A, C は $T_p = 8.0 \sim 14.0 \text{ sec}$ の波に対して $P_m \leq 1.0 P_s$ になるが、ブロック B は、 $T_p = 8.0 \text{ sec}$ の波に対し $P_m = 1.27 P_s$, $T_p = 10.0 \text{ sec}$ の波に対し $P_m = 1.43 P_s$ と大きくなる(図-7~9 参照)。

4) $T_p = 14.0 \text{ sec}$ (長周期のうねり) の場合の作用波圧の特徴は h_1/h_2 の変化にあまり関係なくほぼ一定値となり、いずれのブロックについても、ほぼ同様の値で $P_m \leq 0.84 P_s$ となる。

5) $T_p = 8.0 \text{ sec}$ の場合は、いずれのブロックも $h_1/h_2 \div 0.44$ 付近で最大となる。これより消波工の天端を高くすると、パラペット部施工の場合は、ブロック A, C はほぼ直線的に波圧が減衰するが、ブロック B は $h_1/h_2 < 0$ で $P_m = (1.27 \sim 1.32) P_s$ となってほぼ一定値に止まる傾向がある。また場所打部施工の場合は、ブロック A は消波工の天端を高くするにつれて波圧が減衰するが、ブロック B, C は $h_1/h_2 = 0$ 付近で $P_m = (1.8 \sim 1.9) P_s$ となって減衰効果が少なくなる。

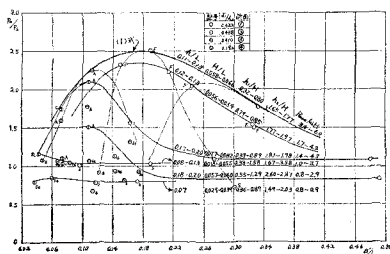
6) $T_p = 10.0 \text{ sec}$ の場合は、ブロック A, C は $h_1/h_2 \div 0.44$ 付近で波圧が最大値をとり、 $h_1/h_2 < 0.44$ ではゆるやかに減少する。しかしパラペット部施工の場合は $h_1/h_2 = -0.06$ (消波工天端高 $+2.0 \text{ m}$) 付近で再び波圧が

大きくなる状態が生じる。この傾向はブロック C についてとくに著しい。これは $h_1/h_2 \div 0.44$ 付近では、侵入波はまさに砕波したばかりのエネルギーの高い状態でパラペット部に衝突し、 $h_1/h_2 \div 0.2$ 付近では完全に崩れた状態で巻き込んで衝突し、 $h_1/h_2 \div -0.06$ 付近では、消波工天端上で崩れて噴流のようになってぶつかって防波堤全体に圧力をおよぼすためであると説明できる。また場所打部施工の場合は $h_1/h_2 \div 0$ 付近で、 $P_m = (1.6 \sim 1.7) P_s$ となってほぼ一定値に止まるようである。ブロック B の場合については、防波堤の天端高がパラペット部施工の場合は、 h_1/h_2 の変化にかかわらず波圧合力はほぼ一定値をとり $P_m = (1.28 \sim 1.47) P_s$ の範囲になる。また場所打部施工の場合は、 $h_1/h_2 \div 0.68$ (消波工天端 -4.0 m) の時 $P_m = 0.98 P_s$ でもっとも小さく、 h_1/h_2 が小さくなるにつれて、すなわち消波工の天端を高くするにつれて、波圧合力は大きくなり、 $h_1/h_2 \div -0.06 (+2.0 \text{ m})$ で $P_m = 1.82 P_s$ になる。このことは透過性のよいこの種のブロックは $T_p = 10.0 \text{ sec}$ 以上の周期の長い波に対しては消波工の天端を高くしても波圧減衰の効果を期待することはできないことを意味している。これは長周期の波に対して ($T_p \geq 10.0 \text{ sec}$) は消波効果というよりはむしろマウンドとして侵入波を砕波させ、かえって波のエネルギーを強める方向に作用しているものと解釈される。しかし、他方、この種のブロックによる消波工は長周期の波に対しては $h_1/h_2 \geq 0.2 \sim 0.3$ の範囲の天端高に施工しても、作用波圧を $P_m \leq 1.60 P_s$ におさえることができる利点はある(ただし 1), 5) で述べたように短周期の波 ($T_p = 8.0 \text{ sec}$ 以下) では $P_m = 2.3 P_s$ 程度になる)。

7) 長周期の波 ($T_p = 14.0 \text{ sec}$) を除く一連の実験波について、消波工と防波堤の天端高が波圧に与える影響を調べるとブロック A については、消波工の天端が $h_1/h_2 \div -0.1, 0.2, 0.4$ の時は、防波堤が場所打部施工の場合の方が、パラペット部施工の場合より P_m/P_s の値は一般に $0 \sim 0.4$ 大きい。 $h_1/h_2 \div 0.7$ の時は場所打部、パラペット部の場合いずれもほぼ同じ値になる。ブロック B については、 $h_1/h_2 \div -0.1, 0.2$ の時は、場所打部の方がパラペット部の場合にくらべ P_m/P_s は $0 \sim 0.5$ 大きい。 $h_1/h_2 \div 0.4$ の時はどちらもほぼ同じで、 $h_1/h_2 \div 0.7$ の時はパラペット部施工の場合の方が P_m/P_s の値は $0 \sim 0.4$ 大きくなる。ブロック C については、 $h_1/h_2 \div 0.2, -0.1$ の時は場所打部の場合の方が P_m/P_s の値は $0 \sim 0.4$ 大きくなり、 $h_1/h_2 \div 0.4, 0.7$ の時はどちらもほぼ同じ値になる(図-7, 8, 9 参照)。

(7) 異形ブロックを設置した防波堤に作用する波圧合力の実験式

以上の波圧実験より、作用波圧が一般に大きくなると



図一18 異形ブロックを設置した防波堤に作用する波圧合力の変化

考えられる場合について、消波工の形状を種々変えて、また使用ブロックも3種に変えて検討を加えた結果、波圧合力の最大値を与え得る式として図一13の上限值を結んで次の実験式を得た。

$$P_{\max} = 56.0(B'/L)^{1.12} e^{-6.60(B'/L)} \cdot P_s \dots\dots (1)$$

ここで、 $P_s = f(H, L, h)$: サンプル簡略式の波圧合力、式(1)で計算される波圧合力は図一18に示すようにほぼ $h/L = 0.11 \sim 0.13$, $H/L = 0.058 \sim 0.066$, $h_1/H = 0.32 \sim 0.80$, $h_2/H = 1.65 \sim 1.77$ の波浪条件で発生している。これは表一1に示す $T_p = 8.0 \text{ sec}$, $H_p = 5.0 \text{ m}$ の波浪である。 $T_p = 8.0 \text{ sec}$, $H_p = 4.0 \text{ m}$, $T_p = 10 \text{ sec}$, $H_p = 5.0 \text{ m}$ の場合は式(1)よりほぼ10%前後小さくなる。 $T_p = 6.0 \text{ sec}$ の場合は波圧の最大が $B'/L \approx 0.1$ 付近に生じており、 $B'/L \geq 0.25$ ではほぼ一定となり $P_{\max} = (0.8 \sim 1.1)P_s$, $T_p = 14.0 \text{ sec}$ の場合は $P_{\max} = (0.8 \sim 1.1)P_s$ でほぼ一定値になる。

5. 結 論

以上の実験結果から防波堤前面に異形コンクリートブロック乱積み消波工を設置した場合について、その作用波圧に関して、次の結論を得た。

① 作用波圧合力の最大値(最大同時波圧の合力)を与える式として次式を得た(4.7)参照)。

$$P_{\max} = 56.0(B'/L)^{1.12} e^{-6.60(B'/L)} P_s$$

② 消波工を設置した防波堤に作用する波の圧力は、消波工形状によることはもちろん、防波堤の天端高によっても波圧合力およびその波圧強度分布が変化する。波圧合力の最大値は $(P_m/P_s)_{\max} = 2.51$ で $B'/L \approx 0.18$, $h_1/h_2 \approx 0.4$ 付近に生じ、F型分布になる(4.(1),(2),(3)参照)。

③ 天端幅の比較的大きい消波工を防波堤前面に設置すると、波圧強度の最大が静水面より $(0.2 \sim 0.5)h_1$ 上方に、いわゆるF型分布が発生する。この最大値は場所打部 $(0.2h_1)$ で $P_{\max}/w_0H \approx 6.0$, パラペット部 $(0.5h_1)$ で $P_{\max}/w_0H \approx 3.0$ になる(4.(4)参照)。

④ 異形ブロックの種類による作用波圧の相違は、消波工天端を +4.5 m まで施工した完成断面においては、侵入波高 $H_p = 5.0 \text{ m}$, $T_p = 8.0 \sim 14.0 \text{ sec}$ に対し、ブロック A は $P_A = (0.70 \sim 1.00)P_s$, ブロック B は $P_B = (0.73 \sim 1.43)P_s$, ブロック C は $P_C = (0.57 \sim 1.05)P_s$ となる。おのおののブロックについては、消波工の天端高と侵入波の周期によって作用する波圧はかなり変動する(4.(6)参照)。

⑤ マウンドが侵入波に対して小さい場合 ($B/L < 0.09$, $h_1/h_2 > 0.65$) は防波堤前面で重複波および部分重複波が生じ波圧合力は防波堤の天端が高くなるにつれて増大する。たとえば $R/H = 0$ の場合は $P_m \leq 0.75P_s$, $R/H = 0.9 \sim 1.5$ の場合は $P_m \leq 1.0P_s$ となる(4.(5)参照)。

⑥ 越波による港内伝達波高は消波工の天端高 +4.5 m で防波堤をパラペット部まで施工した完成断面においては侵入波高の10%以下におさえられる²⁾。

以上述べたように、消波工施工に当たっては、その目的および外力の条件に応じて、それぞれブロックの特徴を生かした合理的、経済的断面の決定、および施工が可能であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 鴻上・時川：消波工施工時に防波堤に作用する波圧，第24回年次学術講演会講演概要，土木学会(1969)
- 2) 鴻上・時川：施工段階における消波工の波圧減殺効果に関する実験的研究，北海道開発局土木試験所報告第53号(1970)
- 3) 鴻上・時川：異形ブロックの消波効果に関する一考察，北海道開発局土木試験所月報第188号(1969)
- 4) 古谷・鴻上・近藤：テトラポット防波堤に関する実験的研究，第8回海岸工学講演会講演集，土木学会(1961)
- 5) 永井・大坪：低基混成堤に働く波圧，第15回海岸工学講演会講演集，土木学会(1968)
- 6) 加川・片山・江口：混成堤直立部に作用する波圧に対するマウンド形状の影響，第13回海岸工学講演会講演集，土木学会(1966)
- 7) S. Nagai, T. Otsubo: Pressures by Breaking Waves on Composite-Type Breakwaters, Coastal Engineering, Chapter 59, 1969