

消波工による波力減殺効果について

菅原輝男*・高木伸雄**・山本正昭***

1. はじめに

消波ブロックを設置した後の波力については、これまで数多く研究が行なわれているが、その消波機構の複雑さのために、全ての問題が明らかにされたわけではない。特に、消波工の規模と波力減殺効果との関係についてはいまだ系統的な成果が不足しており、重要な構造物については、模型実験によって、その規模を決定する場合が多い。本論文は、全波圧を測定するために、製作した波力測定装置を使用して、異型ブロック消波工について種々実験を行ない、特に、消波工の規模のうち天端高と波力減殺効果との関係について、重複波領域、砕波領域、砕波後の領域に分けて、検討を加えたものである。

2. 波力測定装置

2.1 波力測定装置の原理

今回の波力測定装置は、図-1に示すように、96.0 cm(L)×80.0 cm(H)×60.0 cm(W)の鋼板製受圧ボックスを、径 76.3 mm の鋼管アームで吊り下げたもので、アームの8ヶ所にストレーンゲージが張り付けられている。波力測定装置の受圧ボックスに波力が作用すると、鋼管アームが歪み、その歪(ε₀)をストレーンゲージで取り出して、これから水平波力Fを式(1)で計算するものである。

$$F = Ez(\epsilon_{v_2} - \epsilon_{v_1})/l$$

$$= Ez(\epsilon_{v_2} - \epsilon_{v_1})/38 \dots\dots\dots (1)$$

E: 部材のヤング率

z: 断面係数

l: 上下ストレーンゲージ間の距離

2.2 波力測定装置の特性¹⁾

一般に、この波力測定装置の様な振動体に、動的な外

力が作用した場合の最大変位δは、静的外力の場合と異なるのが普通である。そこでδと静的外力の場合の変位δ_{st}との比、即ち式(2)で表わされる変位応答倍率E_Xを計算しておく必要がある。

$$E_X = \delta/\delta_{st} = 1/\sqrt{(1-\omega^2/n^2)+4\beta^2\omega^2/n^2} \dots\dots\dots (2)$$

ω: 外力の振動数

n: 減衰のない時の固有振動数

β: 減衰定数

今回の実験波の周期の範囲 1.6 sec~3.8 sec では、変位応答倍率E_Xは 0.99~0.92 の値となるので今回の実験ではE_X≒1として波力を計算した。

なお、波力測定装置の特性を調べた結果、固有振動数が小さく、衝撃的な波力の測定には、問題となる事がなかった。そのため衝撃的な波力については、波圧計によって測った全波圧を波圧減殺率計算に用いた。この波力係数の実験式を求めると式(3)となる。

$$C_W = -4.125 \log(H_0/L_0) - 3.965 \dots\dots\dots (3)$$

C_W: 波力測定装置の値から求めた無次元波力係数

3. 実験施設

今回の実験は図-2に示すような、一端にフラップ型造波機を有する鉄筋コンクリート製の2次元造波水路を使用して行なったもので、この造波水路のほぼ中央には幅 20 cm の隔壁があり2つの造波水路(第1造波水路

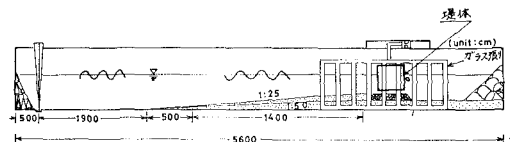


図-2 実験水路

及び第2造波水路)に分けてある。第一造波水路は長さ 55.0 m, 幅 1.0 m, 深さ 2.0 m である。全波力測定用の波力測定装置は第1造波水路の観測用ガラス面のほぼ中央の水平マウンド上に水路隔壁の上端から吊して設置してある。また波力測定装置前に設置する消波工はテラポッド 2 kg/個を用いた。

* 正会員 水産庁漁港部阪災海岸課

** 正会員 水産庁漁港部建設課

*** 正会員 農水省水産工学研究所漁港水理研究室

表-1 実験波の諸元

	周期 T (sec)	沖波波高 H_0 (cm)	沖波波形勾配 H_0/L_0	消波工天端高 (cm)	水深 (cm)							
					16.0	19.2	22.4	25.6	28.8	32.0	35.5	38.4
消波工なし	1.6	17.34~17.43	0.04317~0.04346	—	○	○	○	○	○			
	2.2	17.26~17.49	0.02286~0.02316	—		○	○	○	○	○		
	3.2	15.97~16.35	0.00998~0.01024	—			○	○	○	○	○	
	3.8	14.90~15.41	0.00661~0.00684	—				○	○	○	○	○
消波工あり	1.6	16.67~17.60	0.04175~0.04407	34.4	○	○	○	○	○			
	2.2	17.42~18.18	0.02307~0.02407	37.6		○	○	○	○	○		
	3.2	15.90~16.56	0.00996~0.01037	40.8			○	○	○	○	○	
	3.8	15.18~15.54	0.00674~0.00690	44.0				○	○	○	○	○

4. 実験方法

沖波波高の測定は、第2造波水路を用いて行ない、波高計は造波機から 24.0 m 離れた所に設置されている。又、波高の記録には電磁オシログラフを使用した。一方、波力の測定は波力測定装置で検出された至電圧をブリッジで4倍に出力し、それを動ひずみ計で増幅して電磁オシログラフで記録している。次に、今回の実験に用いた消波工は、天端幅を 20.0 cm で一定とし、消波工高（底面より）を 34.4 cm~44.0 cm の範囲で4種類変えて用いている。又消波工に用いた異形ブロックは乱積みとし、ノリ勾配については 1:4/3 としている。なお表-1 は本実験の実験諸元を示したものである。

5. 実験結果と考察

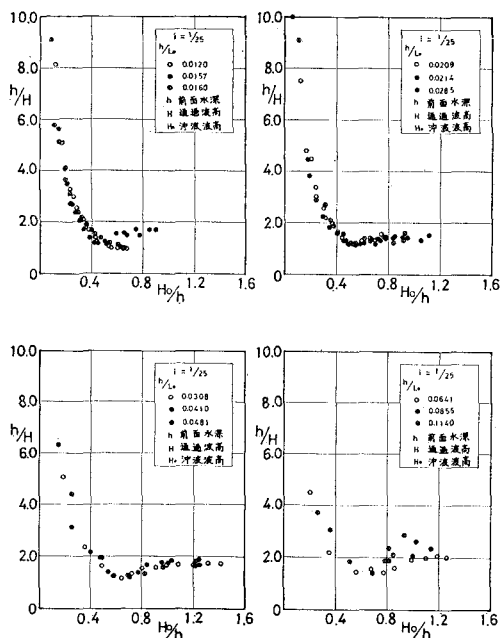


図-3 水深波高比 (h/H) と沖波波高水深 (H_0/h) との関係

5.1 実験波の特性および直立壁に働く波力

波力測定装置を設置する地点での通過波高 H を測定し、図-3 に通過波高 H と沖波波高 H_0 との関係を示している。次に、消波工の有無による波圧を比較するために直立壁に働く波力を求め図-4を作成した。即ち、図-4 は、波力及び全波圧をそれぞれサンプルーの簡易式で求めた波圧合力で無次元化した C_f と h/H_0 との関係を、 h/L_0 別に図示したものであり、図中○印が波力の場合を、また、●印が全波圧の場合を表わしている。また、通過波高と水深との比 H/h と h/L_0 の値も×印で同時に記入している。次に、波力が最大となる h_0 について、沖波波形勾配との関係を検討した結果、堤体を設置した場合の波力が最大となる水深は、進行波の碎波点より 1~2 割浅くなり、また波形勾配が大きい程浅いことがわかった。

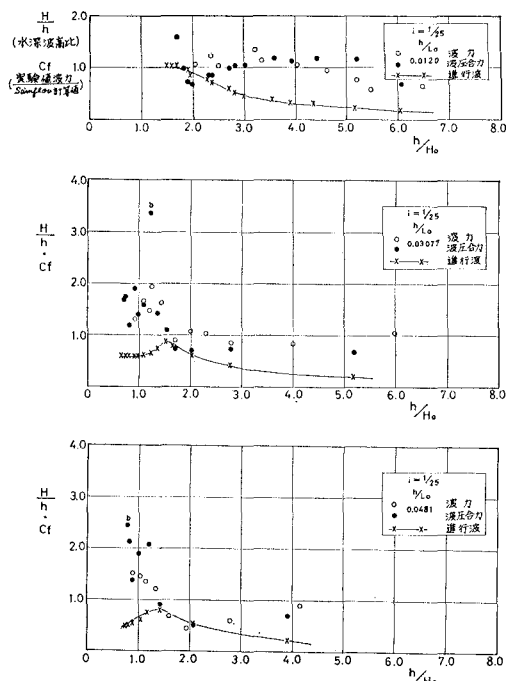
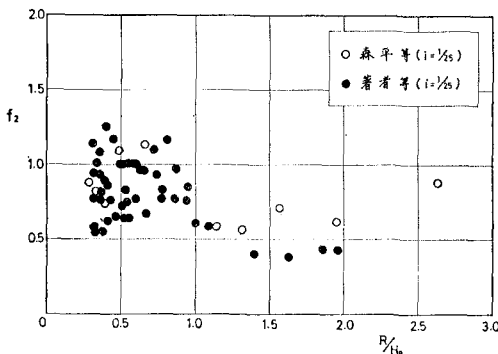
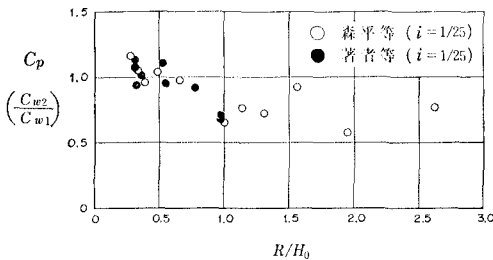


図-4 H/h , C_f と h/H_0 との関係

5.2 消波工設置後の直立壁に働く波力

(1) 重複波領域

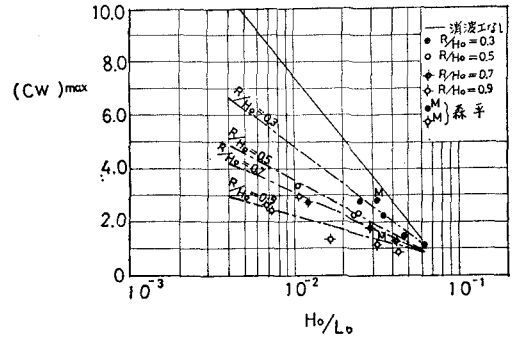
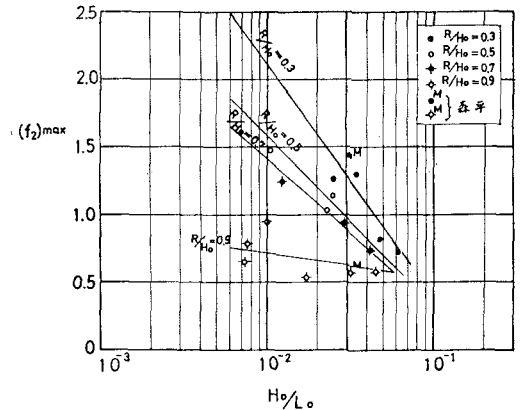
重複波領域における消波工の効果を見るために、図-5, 図-6 を作成した。即ち、消波工設置後の無次元化した波力 f_2 (波力 F を $w_0 H(H+h)$ で除した値) を縦軸に、 R/H_0 (R は静水面からの消波工高) を横軸にとって図示したものが 図-5 である。ここで 図-5, 6 の図中 ●印は著者らの実験値であり、○印は、海底勾配 1/25 の森平ら²⁾の実験値を示している。図-5 から R/H_0 が大きくなるにつれて f_2 が減少する傾向がみられる。また、図-6 は、波力減殺率 C_P (消波工設置後に直立壁に働く波力/直立壁に働く波力) を計算し、

図-5 無次元波力 f_2 と R/H_0 との関係図-6 波力減殺率 C_P と R/H_0 との関係

これを縦軸に、 R/H_0 を横軸にとって図示したものである。 C_P は R/H_0 との関係でよく説明できる。即ち、重複波領域では、鴻上ら³⁾および赤塚ら⁴⁾の実験結果からいえることであるが R/H_0 が大きくなる程 C_P が小さくなる。即ち、重複波領域においても、消波工の規模をある程度以上大きくすれば、波力減殺効果を期待できる。(今回の実験では、 $R/H_0=0.8$ 以上にして 10% 程度、 $R/H_0=1.0$ にして始めて 30% 程度) しかし、 R/H_0 が小さい場合、例えば、 R/H_0 が 0.30~0.50 では消波工の波力減殺効果はあまりなく、場合によっては、消波工を設置することによってかえって波力が増大する事もある。

(2) 碎波領域

碎波領域における実験結果を図示したものが 図-7,

図-7 無次元最大波力 $(C_W)_{\max}$ と沖波波形勾配 (H_0/L_0) との関係図-8 無次元最大波力 $(f_2)_{\max}$ と沖波波形勾配 (H_0/L_0) との関係

8 である。即ち、図-7 は $(C_W)_{\max}$ (最大時の無次元波力 $F/w_0 Hh$) と H_0/L_0 との関係を R/H_0 をパラメータにして図示したものである。また同図に M 印を付して森平らの海底勾配 1/25 の実験値をも示している。両図から $(C_W)_{\max}$ 、或いは $(f_2)_{\max}$ は同じ H_0/L_0 であれば R/H_0 が大きい程小さく、同じ R/H_0 なら H_0/L_0 が大きい程小さくなるのが判る。そこで R/H_0 をパラメータにして $(C_W)_{\max}$ および $(f_2)_{\max}$ と H_0/L_0 との実験式を求めて見た。それが次の式 (4) および式 (5) であり、図-7 の一点鎖線、図-8 の実線がこの実験式を表わしている。

$$\left. \begin{aligned} R/H_0=0.3: (C_W)_{\max} &= -[4.58 \log (H_0/L_0) + 4.36] \\ R/H_0=0.5: (C_W)_{\max} &= -[3.47 \log (H_0/L_0) + 3.32] \\ R/H_0=0.7: (C_W)_{\max} &= -[2.67 \log (H_0/L_0) + 2.24] \\ R/H_0=0.9: (C_W)_{\max} &= -[1.69 \log (H_0/L_0) + 1.17] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

$$\left. \begin{aligned} R/H_0=0.3: (f_2)_{\max} &= -[1.68 \log (H_0/L_0) + 1.25] \\ R/H_0=0.5: (f_2)_{\max} &= -[1.26 \log (H_0/L_0) + 0.94] \\ R/H_0=0.7: (f_2)_{\max} &= -[1.13 \log (H_0/L_0) + 0.84] \\ R/H_0=0.9: (f_2)_{\max} &= -[0.19 \log (H_0/L_0) - 0.34] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

次に, $H_0/L_0=0.01$ と 0.03 の場合について式 (3) と式 (4) との比, 即ち波力減殺率 C_P^* (消波工設置後に直立壁に働く最大波力/直立壁に働く最大波力) を求め, R/H_0 との関係について図示したものが 図-9 である。図中○印, ●印は著者らの海底勾配 $1/25$ の実験値を示し, ⊗印, ⊠印は $H_0/L_0=0.01, 0.03$ の場合の堀川, 野口⁵⁾の海底勾配 $1/15$ の実験値を示している。この図から海底勾配が異なっても R/H_0 が増大する程, 波力減殺率 C_P^* が小さくなることが判り, また, 海底勾配 $1/15$ の方が $1/25$ に比べて C_P^* が大きな値となる事も判る。なお, 漁港構造物設計基準⁶⁾では,

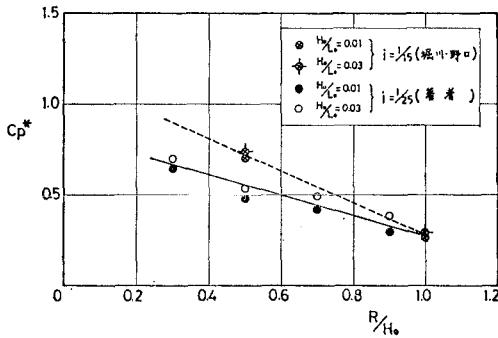


図-9 波力減殺率 C_P^* と R/H_0 との関係

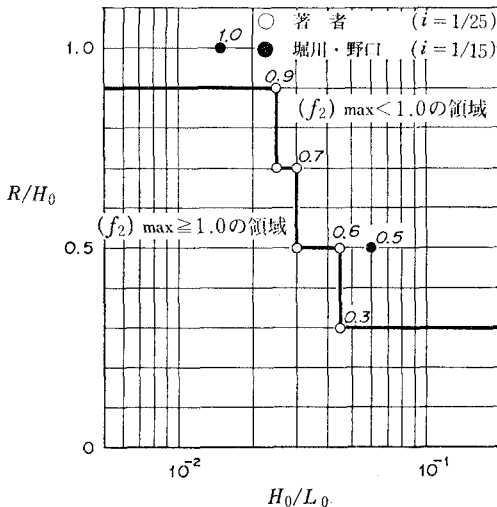


図-10 $(f_2)_{\max}=1.0$ となる R/H_0 と沖波波形勾配 (H_0/L_0) との関係

消波工を設けて防波堤などを築造する場合には, 消波工天端高を $0.5H$ 以上にすると設計波圧は $(f_2)_{\max}=1.0$ を用いる事になっている。そこで, このことを検討するため, 著者らは, 消波工設置後に $(f_2)_{\max}$ が 1.0 となる時の R/H_0 と H_0/L_0 との関係を求める 図-10 を作成した。図-10 は, 図-8 を基に, $R/H_0=0.3, 0.5, 0.7, 0.9$ のそれぞれの場合, $(f_2)_{\max} \leq 1.0$ となる H_0/L_0 の領域を求め, これを図示したものである。図中 ○—○

印は著者らの実験式から求められた値, また ●印は堀川, 野口 ($i=1/15$) の実験より求められた値を示している。この図から, 沖波波形勾配 H_0/L_0 によって $(f_2)_{\max}=1.0$ となる R/H_0 の値が異なり, 海底勾配が $1/25$ では H_0/L_0 が 0.045 より大きい場合には, 天端が低い $R/H_0=0.3$ でも $(f_2)_{\max} \leq 1.0$ となること, 逆に H_0/L_0 が 0.015 より小さい場合には $R/H_0=0.9$ 程に高くしないと, $(f_2)_{\max} \leq 1.0$ とすることができないことが判る。更に, 海底勾配が $1/15$ と急になる程, 同じ沖波波形勾配でも $(f_2)_{\max}=1.0$ 以下となる R/H_0 の値は大きくなることも判る。

(3) 砕波後の領域

砕波後の領域についても, 実験結果を 図-11 に示している。砕波後の領域の波高は, 水深と非常に密接に関係している事から, 砕波後の波力についても堤体の設置水深と密接な関係があることが推測される。また, この領域においても消波工設置後の波力は, 消波工の水面からの高さ R に関係しているものと考えられる。そのため 図-11 は縦軸に f_2 を, また横軸には R/h をとってまとめている。この図から, f_2 の値は, 沖波波形勾配 H_0/L_0 の影響を, ほとんどうけず, R/h が大きくなる程, 即ち消波工天端高を一定にすれば, 設置水深が浅くなる程, f_2 は小さくなる。次に波力減殺率 C_P を著

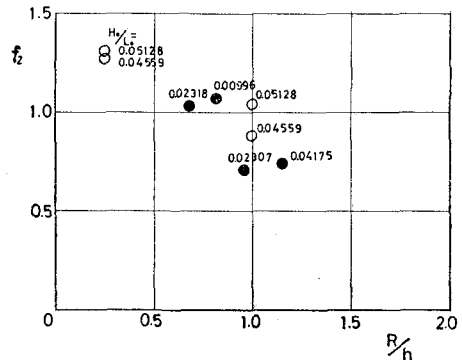


図-11 無次元波力係数 f_2 と R/h との関係

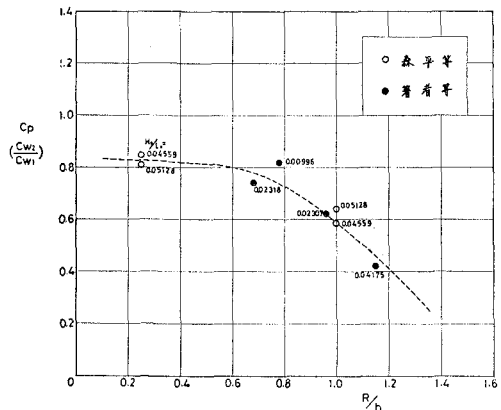


図-12 波力減殺率 C_P と R/h との関係

者らの実験値 ●印, および森平らの実験値 ○印を用いて図示したものが 図-12 である. この図から, R/h が大きくなる程, 波力減殺率 C_P は小さくなる事が判る. 即ち, 碎波後の領域においては, 消波工を設置した場合の波力は, R/h が 0.2 で約 20%, また R/h が 1.0 でほぼ 40% 減少することが判る.

6. おわりに

今回の研究で次の事が明らかになった.

- ① 重複波領域においても消波工の規模をある程度大きくすれば, 波力減殺効果が期待出来る.
- ② 最大波力 $(C_w)_{\max}$ および $(f_2)_{\max}$ は H_0/L_0 との関係で (4), (5) 式の様に表示される. 波力減殺率 C_P^* は R/H_0 が増大する程小さくなる. また海底勾配が 1/15 の方が 1/25 に比べて大きくなる. 即ち, $(f_2)_{\max} \leq 1.0$ となる R/H_0 の値は, $H_0/L_0 \geq 0.045$ の時, $R/H_0 \geq 0.3$,

$H_0/L_0 \leq 0.015$ の時, $R/H_0 \geq 0.9$ となる.

- ③ 碎波後の領域では $R/h=0.2$ で 20% の減少, $R/h \approx 1.0$ で 40% の減少となる.

参考文献

- 1) 小坪清真: 土木振動学, 森北出版株式会社, 1973.
- 2) 森平倫生・柿崎秀作・菊谷 徹: 異型ブロックの波力減殺効果に関する研究, 港研報告第6巻4号, pp. 1~36, 1967.
- 3) 鴻上雄三・時川和夫: 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, 第17回海講論文集, pp. 205~210, 1970.
- 4) 赤塚雄三・竹田英章・蓮見 隆: 重複波堤前面に消波工を設置した場合の波力, 第22回海講論文集, pp. 427~431, 1975.
- 5) 堀川清司・野口雄二: 直立壁に作用する碎波の波力と波面との関係, 第17回海講論文集, pp. 177~184, 1970.
- 6) 社団法人全国漁港協会: 漁港構造物標準設計法, p. 201, 1976.
- 7) 菅原輝男・高木伸雄: 直立壁に働く波力と消波工による波力減殺効果, 農工試技報 D 第21号, pp. 1~26, 1979.