

傾斜孔型直立消波堤の実験的研究

山田 貞彦*・国栖 広志*・榊原 敏行*・伊藤 雅通*

1. ま え が き

近年、港内水域の多目的利用や堤体設置の大水深化に伴い、従来、一般的に用いられている構造形式では機能的・経済的に問題が生じており、これらの解決方法の一手段として、前面に直立の壁を有し、しかも消波機能をもつ直立消波構造が提案され注目を集めている。

堤体の前面壁に孔を有する構造は、初期、空気のクッション作用による波力の減殺という考えから使用されていたが¹⁾、その後、音響理論の考えを応用し空げきを出す際のエネルギー損失により消波させるという考えから、前面が通水性のいわゆる透過壁体部と背後に遊水部を有する構造体が提案され、この形式で前面が薄壁の孔あき消波堤が実際、カナダのユモア湾で施工された。

わが国でも、最近、前面透過壁の形状が厚壁円孔型²⁾やスリット形式³⁾の直立消波構造が各研究機関で活発に研究開発され、現地に実際、数例施工されるに至った。

しかし、直立消波構造の消波特性に関し、所定の堤体形状が設定されると消波効果の有効に働く波長領域が限定され、その領域以外の波長には消波効果が著しく低下する性質を有するため、海のように不規則な波の発生するところに設置するのに若干の問題が残る。

このようなことから、最近、直立消波構造に改良を加え、より消波性能の高い構造物を作ることを実験研究が成されている⁴⁾。特に、前面透過壁体部の構造が傾斜形式の直立消波堤の研究は、長尾⁵⁾らの傾斜棚のものや、三浦⁶⁾らの棚状の傾斜板の複数の組み合わせによるものの他、数例ある程度である。

本研究は直立消波構造の消波性能の向上を目的に、透過壁体部が傾斜孔でしぼり部を有する直立消波構造を提案し、消波特性の実験・検討を行なうものである。

2. 模 型

実験に使用した傾斜しぼり孔型消波堤の基本的な構造を図-1に示す。これは(a)断面図に示すように、前面通水性の透過壁体部と遊水部及び背後の不透過壁から構成され、この形式の従来と異なる特徴は、前面透過壁

体部の構造で、波の流入孔が沖から岸に向かって上り勾配の角度を有し、(c)に示すように、前面2つの孔から流入した水が、奥の合流しぼり部で合流され、前面流入孔の面積より小さな面積にしぼったしぼり部を通過して、流入して来た水を一時貯留する遊水部に落下させる構造としたことである。図-1(a)は断面図、(b)は透過壁体部正面図(A-A)、(c)透過壁体部平面図(B-B)、(d)透過壁体部背面図(C-C)を示す。

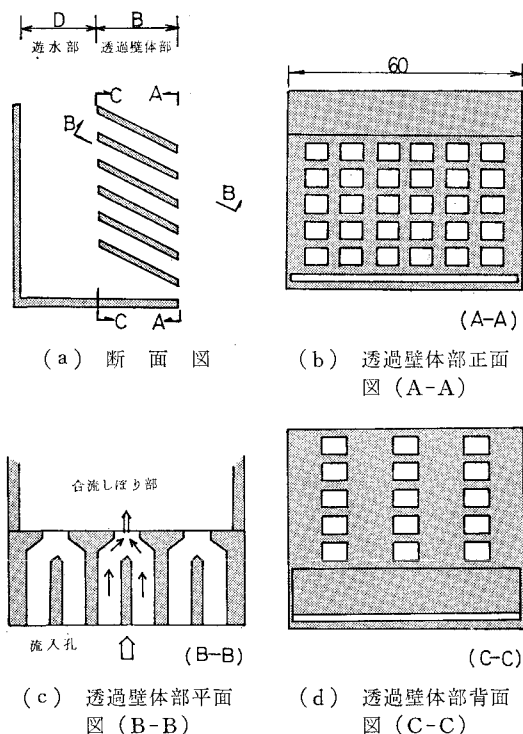


図-1 模型図面

3. 実験方法

(1) 造波水路

実験に用いた二次元造波水路は、図-2に示すように長さ 38 m、幅 60 cm、高さ 90 cm、片側 12 m 観測用ガラス窓を有した鋼製水路で、水路上部に計測用レールと測定台車を設けてある。造波型式はフラップ型で、波

* 正会員 五洋建設(株)技術研究所

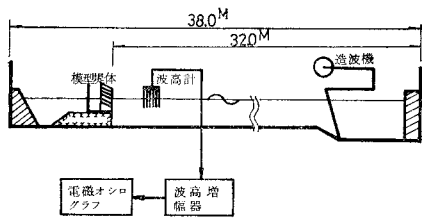


図-2 実験水路

は規則波である。動力はバイエル無段変速モーターを用い、電磁クラッチ方式で遠隔操作にて起動を行なう。波の周期の設定は光電管検出器によるデジタル表示とし、遠隔操作にて連続的に設定可能である。造波特性は

周 期	0.8~3.0 sec
最大波高	26 cm

である。

(2) 計測・記録方法

波高の測定は、検出部に容量式波高計 6 本を使用し、6 ch 波高増幅器を通して電磁オシログラフに記録した。

(3) 実験波の諸元

実験に用いた波の諸元を表-1 に示す。水深は実験中 47.6 cm で一定とし、波高は各周期について 1 種類とした。

表-1 実験波の諸元

h (cm)	T (sec)	H (cm)	L (cm)	H/L	h/L	$B+D/L$
47.6	1.0	9.4	1530	0.061	0.311	0.196 ~ 0.391
	1.3	11.7	2281	0.051	0.209	0.132 ~ 0.263
	1.6	12.2	3023	0.040	0.157	0.099 ~ 0.189
	2.0	10.7	3979	0.027	0.120	0.075 ~ 0.151
	2.4	9.1	4906	0.019	0.097	0.061 ~ 0.122

(4) 実験断面

水路に模型を設置したときの断面を図-3 に示す。模型は水底面から 26.0 cm を不透過壁の構造とし、それより上部に傾斜しぼり孔型模型を設置した。その諸元を図-3 に示す。

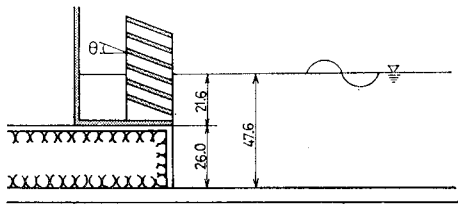


図-3 実験断面

(5) 模型諸元

傾斜しぼり孔型直立消波構造の前面流入孔面積、傾斜孔角度、しぼり、遊水部幅の諸元を表-2 に示すように設定した。

表-2 模型諸元

S_1 (%)	S_2/S_1	D/B	θ (°)
44.4*	0.58	0.5	0
		1.0	5
47.6	0.8	1.0	10
		1.5	15
55.5*	1.0	1.5	20
		2.0	25

* $D/B=1.0, 1.5$; $\theta=0^\circ, 15^\circ, 25^\circ$ を実験

S_1 : 前面流入孔開口率
 S_2 : しぼり部開口率
 S_2/S_1 : しぼり比
 D : 遊水部幅
 B : 透過壁体幅 (20 cm 一定)
 D/B : 遊水部比
 θ : 傾斜孔角度

(6) 反射率の測定方法

直立消波構造の合成波の波高分布は、入射波が規則波であっても、堤体から反射される波は規則波以外の高次の成分を含んだ波が発生し、かなり乱れた波となる。現在、このような直立消波構造に対する反射率の測定法に確立された方法はない。最近、不規則波の入射波と反射波の分離により反射率を求める方法などが提案されているが⁷⁾、本実験では、従来から一般的に用いられている Healy の方法で反射率を求め、修正 Healy 法⁸⁾にて結果を補正し整理した。また、堤体前面の波高分布は 5 cm ピッチで計測し、有効波の中から安定した 5 波の平均をその位置での波高とした。

4. 実験結果と考察

傾斜しぼり孔直立消波堤の傾斜孔は岸に向かって上り勾配とし、傾斜による砕波や遊水部に落下するときの擾乱作用を、合流しぼり部を設けて 2 方向からの水の流れを合流、しぼることにより遊水部に噴流による竜巻状の渦を形成することによる波のエネルギーの消耗を期したものである。以下、これら各部の消波効果に対する影響を次の要素について検討を行なう。

$K_R = f(S_1, S_2/S_1, D/B, \theta)$

- (1) 前面流入孔面積が消波効果に及ぼす影響。 (S_1)
- (2) しぼり比が消波効果に及ぼす影響。 (S_2/S_1)
- (3) 遊水部幅が消波効果に及ぼす影響。 (D/B)
- (4) 傾斜孔角度が消波効果に及ぼす影響。 (θ)

(1) 前面流入孔面積が消波効果に及ぼす影響

孔を通過する際の流体の抵抗係数は、前面透過壁体部の空げき率や形状に影響されることが報告⁹⁾されており、流入孔面積の大きさが反射率に影響を及ぼしていることが考えられる。そこで、前面開口率を 44.4%、47.6%、55.5% に設定し、それぞれの開口率につき、傾斜孔角度を $0^\circ, 15^\circ, 25^\circ$ 、遊水部比 D/B を 1.0、1.5 に設定し、周期 1.0~2.4 sec のときの反射率を求めた。図-4 は $D/B=1.5$ で $\theta=0^\circ$ と 25° のときの結果

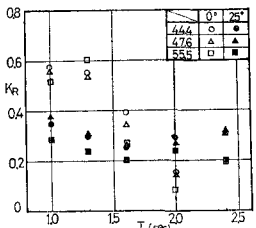


図-4 開口率の違いによる反射率特性 ($D/B=1.5$)

である。この図から傾斜孔角度が 0° のとき 44.4% と 47.6% と各周期について反射率は同じであり差はないが若干 47.6% の方が低めの値を示している。55.5% のとき、他の開口率に比べて 5~10% 程度反射率が低く、全体的には開口率の大きい方が消波効果が良くなっている。 $\theta=25^\circ$ の場合も $\theta=0^\circ$ のときとほぼ同様の傾向を示しているが、44.4% と 47.6% のときほとんど反射率が同じである。今回の結果から、前面開口率を増してゆくと若干反射率は下がるのがわかった。しかし、あまり大きな開口率にすると、逆に反射率が增大することが予想されるが、今回の実験範囲からその上限値をおさえることはできなかった。

(2) しほり比が消波効果に及ぼす影響

しほり比は図-1(c) に示すように、前面流入孔の面積に対する合流しほり部の面積比で、ここでは前面開口率 S_1 としほり部開口率 S_2 の比 S_2/S_1 で示す。このしほり部は急縮による噴流効果と、2 方向から流入した水がぶつかり遊水部に落下し竜巻状の渦を形成することによる消波作用である。実験では S_2/S_1 を 0.58, 0.8, 1.0 に設定した。また、前面開口率は 47.6% で一定とした。

しほり比の効果を検討するため図-5 のように整理した。この図は $S_2/S_1=1.0$ で $\theta=0^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ のときの実験結果で、横軸に $(B+D)/L$ 、縦軸に反射率 K_R をとり整理した図で、

このように整理すると、それぞれの角度について下に凸の曲線が引け、このような方法で $\theta=0^\circ$ と $\theta=25^\circ$ のとき、しほり比の違いによる結果をまとめたのが図-6 の (a), (b) である。図-6(a) は $\theta=0^\circ$ のときの結果である。この結果をみると消波効果の違いが顕著にあらわれているところは、曲線の凸部が最小となる最適ケーソン幅付近であり、しほり比 S_2/S_1 が 0.58 から順に大きくなるに従って反射率の値が良くなっている。また (b) は角度が 25° の場合である。この角度の場合も最適ケーソン幅の所で反射率の違いが最もあらわれ、 S_2/S_1 が 1.0 の場合最も消波することがわかる。しかし $(B+D)/L$ が最適ケーソン幅より大きいところで、逆に 0.58 の方が若干消波効果の良くなる事がわかる。この事は他の角度のときも同様の傾向を示すことから、ケーソン幅に対し相対的に短かい波長の波にはしほりの効果があり、長い波になるとしほりの効果はみられなかった。

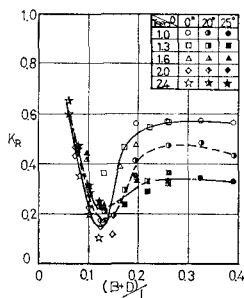
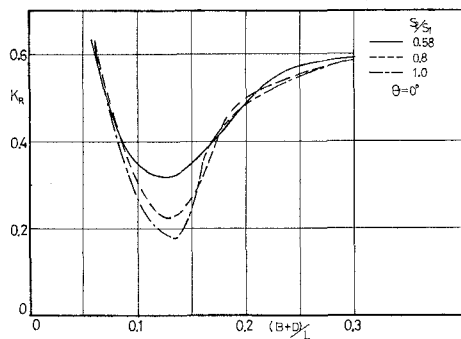
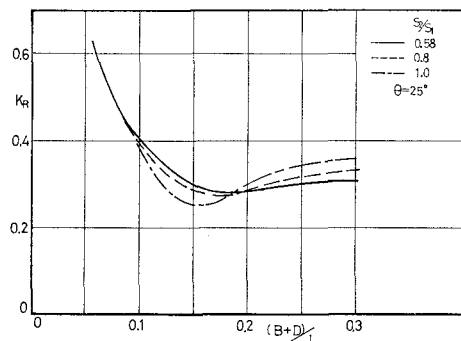


図-5 反射率の実験結果 ($S_2/S_1=1.0$)



(a) $\theta=0^\circ$

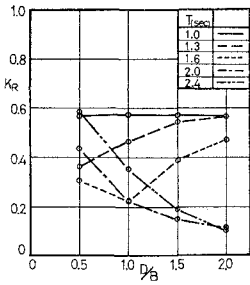
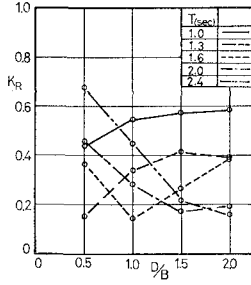
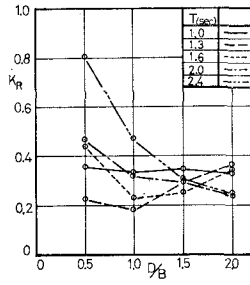


(b) $\theta=25^\circ$

図-6 しほりの効果

(3) 遊水部幅が消波効果に及ぼす影響

遊水部は流入して来た水を一時貯留し、位相をずらして再度沖に返す機能を有す部分である。この遊水部幅が前面傾斜孔角度 θ を変えることにより、どのような消波特性を示すか検討するため、遊水部幅を 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm に設定し、周期、しほり比、角度を変え反射率の測定を行なった。この結果を図-7 の (a), (b), (c) に示す。この図は S_2/S_1 がいずれも 1.0 で $\theta=0^\circ, 15^\circ, 25^\circ$ のときの結果である。また、このグラフの横軸には遊水部比 D/B 、縦軸に K_R をとり各周期をパラメーターに整理した。図-7(a) は $\theta=0^\circ$ の結果である。この図から周期 $T=1.0$ sec のとき D/B に関係なく一定の反射率を示すが、 $T=1.3$ sec のとき $D/B=0.5$ で最小の反射率を示し、 $T=1.6$ sec のとき $D/B=1.0$ 、 $T=2.0$ sec のとき $D/B=2.0$ のところでそれぞれ最小の反射率を示す。このことから周期が長くなるにつれ、消波効果の最も良くなる D/B が大きい方に移動してゆき、波長に対し最適な遊水部幅が必要になることがわかる。図-7(b) の $\theta=15^\circ$ の場合も同様の傾向を示している。図-7(c) は $\theta=25^\circ$ の結果である。この場合も周期が大きくなるにつれて長い遊水部の必要になることがわかるが、 $D/B=1.5 \sim 2.0$ の所で各周期とも反射率が 30% 前後のところに集中しており、周期に対する反射率の変動の小さいことを示している。

(a) $\theta=0^\circ$ (b) $\theta=15^\circ$ (c) $\theta=25^\circ$ 図-7 遊水部の効果 (S_2/S_1)

(4) 傾斜孔角度が消波効果に及ぼす影響

傾斜孔角度の消波効果は、砕波させることと遊水部に落下する際の擾乱等である。また、角度の影響を検討するため θ を 0° から 30° まで 5° ずつ変えて、それぞれの角度について D/B , S_2/S_1 を変えて実験を行なった。図-8(a), (b) は $S_2/S_1=1.0$ で $D/B=1.0$ と 1.5 のときの結果を、横軸に周期 T , 縦軸に K_R をとり、 θ をパラメーターに整理した図である。図-8(a) は $D/B=1.0$ のときの結果である。この図から、 $\theta=0^\circ$ のとき反射率が最小となる T は 1.8sec 付近で、その周期よりも短かくても、長くても反射率が增加する。また、 $\theta=20^\circ$ のとき $T=1.6\text{sec}$ で、 $\theta=25^\circ$ のとき $T=$

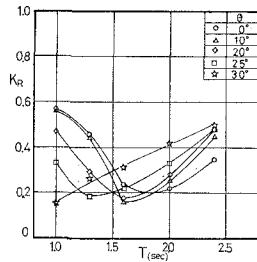
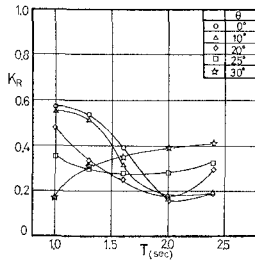
(a) $D/B=1.0$ (b) $D/B=1.5$

図-8 傾斜孔角度の周期特性

1.3sec のところで最小の反射率を示している。すなわち、傾斜孔角度が大きくなるにつれて反射率の最小値を示す周期が短周期側に移動する。図-8(b) は D/B が

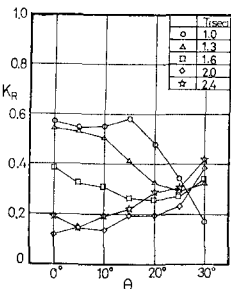


図-9 傾斜孔角度の効果

1.5 の結果である。この図から $\theta=0^\circ$ のとき長周期側で $K_R=18\%$ と非常に良く消波しているが、短周期側で $K_R=58\%$ と悪く、周期の変動に対して非常に反射率が不安定であることを示している。また傾斜角度を大きくしてゆくと、短周期側で消波効果が良くなり、長周期側で悪くなるが

$\theta=25^\circ$ のとき、周期の変動にかかわらず反射率が 30% 前後の値を示し、広範囲な波に非常に安定した消波効果を得ることができることがわかった。

図-9 は $D/B=1.5$, $S_2/S_1=1.0$ のときで横軸に傾斜孔角度 θ , 縦軸に K_R をとり各周期をパラメーターにとり、

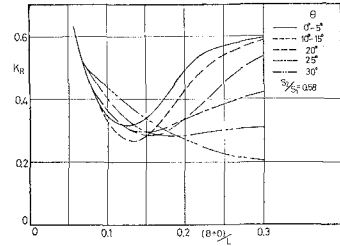
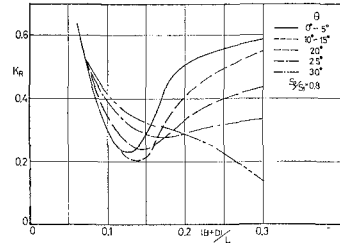
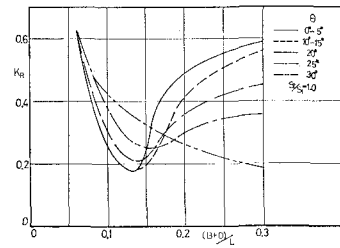
(a) $S_2/S_1=0.58$ (b) $S_2/S_1=0.8$ (c) $S_2/S_1=1.0$

図-10 傾斜しぼり孔型消波堤の消波特性

θ の影響について整理した図である。この図からも短周期の波には角度が大きくなるにつれて消波効果が良くなり、長周期波は若干悪くなるが、 $\theta=25^\circ$ のときいずれの周期も反射率が集中していることがわかる。

以上しぼり比、遊水部、傾斜孔角度の消波効果について個々に行なって来たが、これら全ての要素を総合的に整理したのが図-10の(a), (b), (c)である。この図はそれぞれしぼり比が 0.58 , 0.8 , 1.0 のときの結果で、横軸に $(B+D)/L$, 縦軸に K_R をとり、傾斜角度をパラメーターにまとめたものである。この図から $\theta=0^\circ$

と 5° のときほぼ同じ結果で、下に凸なかなり急な曲線であるが、 θ が増すにつれて徐々に右下がりのなだらかな曲線となり、 $\theta=25^\circ$ のとき広い波長領域の波について消波効果のあることがわかった。

5. あとがき

今回の実験目的は、消波性能のより高い直立消波構造を作ることであるが、実験の結果適当な傾斜孔角度、遊水部長、しぼりを設定することにより、一様かつ広範囲の波に消波効果を有する直立消波構造を作ることが可能であることがわかった。また今回の実験では透過壁体幅を 20 cm で一定としたが、最近、消波効果に透過壁体幅がかなり影響しているとの報告¹⁰⁾もあり、今後幅の影響についても検討を行なってゆきたい。

なお、当研究を行なうにあたり、九州大学井島武士教授、および、運輸省港湾技術研究所波浪研究室、防波堤研究室的の諸先生に、貴重な御助言および御指導いただきました。ここに深く感謝する次第であります。

参 考 文 献

1) 伊藤喜行：特殊防波堤論，1968年度水工学に関する

る夏期研修会講義集，68-06，pp. 16-17.

- 2) 井島武士・奥蘭英明・湯村やす・坂井久雄：遊水部をもつ直立消波防波堤と護岸，第 19 回海岸工学講演会論文集，pp. 185-192，1972.
- 3) 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 回海岸工学講演会論文集，1976.
- 4) 井島武士・奥蘭英明・湯村やす・牛房幸光：直立消波護岸における透過壁と遊水部の機能，第 23 回海岸工学講演集，pp. 85-88，1975.
- 5) 長尾義三・加藤久徳：直立消波岸壁に関する二，三の実験的研究，第 17 回海岸工学講演会論文集，pp. 145-146，1970.
- 6) 三浦 晃・遠藤茂勝：透過性構造物による波の反射率，透過率の実験結果について，土木学会第 28 回年次学術講演概要集第 2 部，pp. 59-60，1972.
- 7) 合田良実・鈴木康正：不規則波に対する反射波の分離法について，第 1 回関東支部年次研究発表会講演概要集，pp. 151-154，1973.
- 8) 合田良実・阿部淑輝：有限振幅波の部分反射に伴う見かけの反射率について，港湾技術研究所報告，第 7 巻，第 3 号，pp. 1-53，1968.
- 9) 井島武士・奥蘭英明：透過壁体の流体抵抗と直立防波堤への適用，第 22 回海岸工学講演会論文集，pp. 507-511，1975.
- 10) 前出 4).