

スリット構造による波浪の減衰作用について

井田 康夫*・久保 弘一**

1. 緒 言

近年、透過性構造物の一種として構造の一部をスリット壁とした防波堤、波除堤、岸壁などの構造物が実用化されるようになり、反射波、伝達波の減衰に伴う水面の静穏化にかなりの効果を発揮しているようである。この種の構造物は一般に沖側にスリット壁を有し、これに続くケーソンの一部が中空になっているものが多いが^{1),2)}、中空部に消波ブロックを填充した例³⁾もある。

スリット構造の実用化と併行して、スリットなどの波浪減勢機能に関する基礎的な研究も盛んに進められるようになり、また従来、現象の複雑さのために主として実験的手法のみにゆだねられていたこの種の研究にも理論的検討が加えられるようになり、相当の成果が得られつつある^{4),5)}。しかしながら、スリット周辺における水理現象は縦型、横型を問わず、スリット自体の幅によるエネルギー伝達現象の差異（スリット幅が大きいとスリット内外で水位差を生ぜず、連続的な波形を形成するが、スリット幅が小さい時には両側にかなりの水位差を生じ、噴流状の形態でエネルギー伝達が行われる）や、複列スリット壁構造の場合、両壁間の複雑な反射波の形態、これと入射波の重合など、理論的表現の困難なものが多いため、本文では実験的考察を主とし、理論的検討は後の機会に譲ることにした。

一般にスリットを有する構造物に期待される減勢機能は

(1) スリットによる直接のエネルギー損失に伴う反射波、伝達波の減衰

(2) 入射波と反射波の位相差に伴う重合による波浪の減衰

であるが、(2)の効果を期待するならば、当然複数の透過壁同志あるいは透過壁と不透透壁の組合せ構造を考える必要がある。

いま伝達率を $K_T(=H_T/H_I)$ 、反射率を $K_R(=H_R/H_I)$ とし、エネルギー保存係数 $K_T^2 + K_R^2 = K_G^2$ なる概念を導入すると、これらの間には

$$K_T^2 + K_R^2 = K_G^2 \leq 1$$

なる関係がある。消波構造物としては K_G をできるだけ小さくするような構造が望ましいが、構造物の目的によっては K_T を多少犠牲にしても K_R を最小にする必要がある場合やその逆の場合も考えられ、 K_G のみを唯一の効果指標とすることは必ずしも妥当ではない。

この研究では種々の空隙率を有する縦、横の基本スリットについて波浪の伝達率および反射率を求めると同時に、スリット周辺における波の挙動をもあわせて観察し、さらに縦、横スリット壁、不透透壁を組合せた種々の複列壁を対象として、減勢にもっとも有効な組合せの種類とその間隔についても実験的に検討した。

2. 実験設備および方法

実験は幅 0.8 m、深さ 0.9 m、長さ 27 m で一端にフラップ型造波機を設置した二次元波浪水槽で行った。実験に用いた波の諸元は表-1のとおりである。造波機から約 16 m の位置に図-1に示すように高さ 95 cm、幅 80 cm、厚さ 2.5 cm の木製で間隔を自由に交えることのできるスリット壁を設置した（複列壁の場合には前列のスリット壁をこの位置に設置した）。実験に用いたスリット壁の種類は縦型、横型各 12 種類でその諸元は表-2のとおりである。

波高の測定はスリット壁前後に設置した抵抗線式波高計によって行い（写真-1）、また K_T 、 K_R 算定の際の入

表-1 波の諸元

水深 h (cm)	50
周期 T (sec)	1.5~2.0
波長 L (cm)	283~393
波高 H (cm)	7.9~17.5
波形勾配 H/L	0.020・0.037・0.052・0.062

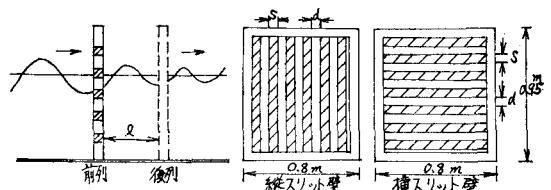


図-1 スリット壁

* 正会員 大阪工業大学講師 土木工学科
 ** 正会員 大阪工業大学助教授 土木工学科

表-2 構造物の諸元

スリット壁の種類	単列		複列					
	縦	横	横スリット壁と不透過壁		横スリット壁と縦スリット壁			
			前列	後列	前列	後列		
しゃへい板幅 d (cm)	2, 3, 4		4	不透過壁	縦	横	縦	横
スリット幅 S (cm)	1, 2, 3, 4		1, 3	過壁	4		4	
スリット比 d/S	$\frac{2}{1}, \frac{2}{2}, \frac{2}{3}, \frac{2}{4}$	$\frac{3}{1}, \frac{3}{2}, \frac{3}{3}, \frac{3}{4}$	$\frac{4}{1}, \frac{4}{3}$	壁	$\frac{1}{1}, \frac{2}{2}$	$\frac{1}{1}, \frac{2}{2}$		$\frac{4}{1}, \frac{4}{2}$
空隙率 λ	0.158~0.543		壁間隔 l (cm)		$\frac{L}{2}, \frac{L}{4}$	$\frac{L}{4}$		

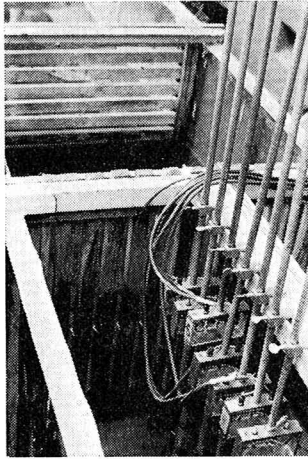


写真-1 反射率測定

射波高はスリット壁を設置しない状態で、伝達波高測定位置における波高を用いた。なお反射率は8本組の波高計を順次移動させて、ヒーラーの方法によって求めた。

3. 単列スリット壁に関する実験結果と考察

(1) 基準値について

実験によって得られた K_T, K_R を評価する際の1つの指標として各 h/L に対応するエネルギー分布曲線からスリットを透過するエネルギーの全エネルギーに対する割合を求め、これから仮定の伝達率、反射率を算出して基準値とし、実験値を評価した。すなわち水深 h の表面波のエネルギー E の鉛直分布は次式のように h/L の関数として与えられる。

$$\frac{dE \cdot h}{8} dz = \frac{\pi \left(\frac{h}{L}\right)}{\sinh 2\pi \left(\frac{h}{L}\right)} \times \left[\frac{\cosh \left\{ 4\pi \left(\frac{h}{L}\right) + 4\pi \left(\frac{z}{L}\right) \right\}}{\cosh 2\pi \left(\frac{h}{L}\right)} + \frac{\sinh \left\{ 4\pi \left(\frac{h}{L}\right) + 4\pi \left(\frac{z}{L}\right) \right\}}{\sinh 2\pi \left(\frac{h}{L}\right)} \right]$$

実験に用いた4種の h/L についてエネルギーの鉛直分布曲線を求めると図-2のとおりである。

これらの図について図-3のように各スリットに対する伝達エネルギーの面積

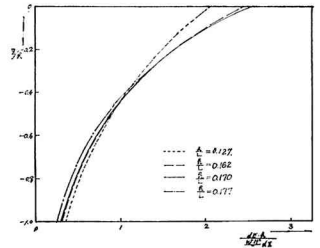


図-2 波のエネルギー鉛直分布

(斜線部)の全面積に対する割合 δ を求め、 $K_T = \sqrt{\delta}$ を基準値とした。また縦型スリットについては簡単に $K_T = \sqrt{\lambda}$ を基準値とした。したがって反射率の基準値については両者とも $K_R = \sqrt{1 - K_T^2}$ を用いた。

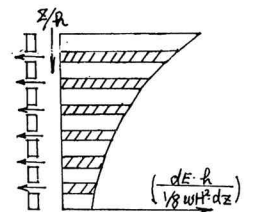


図-3 波のエネルギーの鉛直分布

(2) 横型スリット壁について

種々の空隙率を有する横型スリットについて、波高伝達率 K_T 、反射率 K_R を求め、 K_T および K_R と λ の関係を図示すると図-4のとおりで、当然のことながら空隙率の増加に伴って K_T は増加し、 K_R は減少する。 K_T と λ との関係は基準値と同じ傾向を示すが、その値は基準値より 0.1~0.3 (1.1~1.8 倍) 大きい。一方、 K_R は基準値の変化とやや傾向も異なり、同時にその値

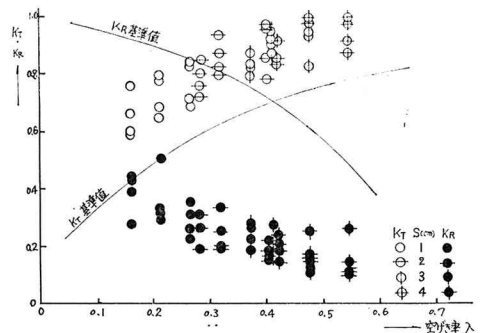
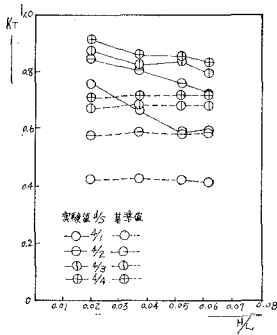
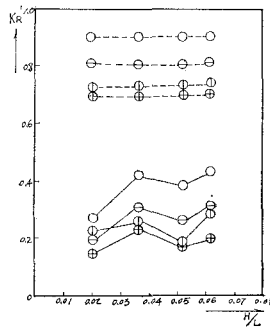
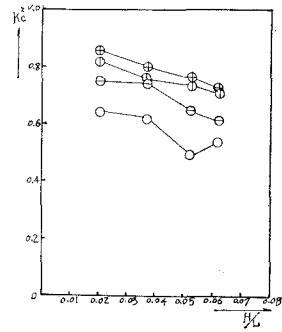


図-4 単列横スリット壁

図-5 (a) K_T 図-5 (b) K_R 図-5 (c) K_0^2

も基準値の $1/2 \sim 1/4$ となり、その差が著しい。以上の点から、透過エネルギーはエネルギー分布から判断した値よりも著しく大きく、かつ相当の高速を有する噴流となって陸側に侵入する場合が多いと考えられ、したがって流入による損失エネルギーも大きく ($K_0^2 = 0.5 \sim 0.85$)、そのため反射率も基準値より極端に減少する。特に空隙率の小さい $d/S = 4/1$ (d はしゃへい板幅、 S はスリット幅) の場合には壁内外の水面が著しく不連続となり、陸側の水面へ噴流となって落下する。なおスリット幅 S の広狭が K_T 、 K_R におよぼす効果については明瞭な関係が得られていないが、空隙率が同一で S が異なる場合、すなわち $d/S = 4/2$ と $2/1$ を比較して見ると S の大きい方が、多少 K_T は大きく、 K_R は小さい。

次に波形勾配 H/L が K_T 、 K_R 、 K_0^2 におよぼす影響を明らかにするため、 H/L を横軸に、縦軸に K_T 、 K_R 、 K_0^2 をとり、 d/S をパラメーターとして図化した。その一例を示すと図-5 のとおりである。これらの図より他の透過性構造物と同様、 K_T は H/L の増加に伴って減少することは明らかであり、かつ d が同一の時は S の小さいほど K_T は小さく、特に $d/S = 4/1$ の場合には他との差が極端に現われる。一方、反射率 K_R はこの逆で、 $d/S = 4/1$ の時には他に比べて特に反射率が大きくなる。

(3) 縦型スリット壁について

縦型スリットについても横型と同様に K_T 、 K_R と空隙率の関係を図示すると図-6 のとおりで、両者の関係は図-4 と同一の傾向を示し、 K_T については基準値より $0.1 \sim 0.3$ ($1.3 \sim 1.8$ 倍) 大きく、 K_R はほぼ $1/2 \sim 1/4$ である。 H/L と K_T の関係は横型とやや異なり、 H/L の小さい範囲では K_T はほぼ一定であるが、 $H/L = 0.04 \sim 0.05$ 付近から減少傾向を示す。 H/L と K_R の関係は横型と同様である。

なお全体として K_T 、 K_R とも横型の方がいずれも数% 小さい。これは水面付近に配置されたしゃへい板が波のエネルギーの大きな部分を適切に減勢するからである。

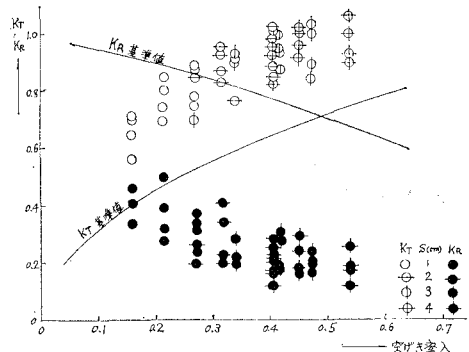


図-6 縦スリット壁

4. 複列スリット壁に関する実験結果と考察

スリット壁による波浪減勢効果をさらに高めるためにはスリットによるエネルギー損失のほか、複列のスリットによる減勢の相乗効果、あるいは入射波と反射波の位相差を利用して減勢効果をあげることが望ましい。このような観点から、先の実験に用いた各スリット壁を組合せた構造を考え、これらについて K_T 、 K_R の減少効果を判定した。この場合、スリットの組合せと同時に壁間隔によって減勢効果が左右される。したがって、まず位相差の効果を確認するため、前列に $d/S = 4/1$ 、 $4/3$ の横スリット壁、後列に不透壁の組合せを配置し、その間隔を $L/2$ 、 $L/4$ とした場合の反射率について比較検討した。その結果、 $L/4$ の方が位相差が有効に働き、 K_R がかなり小さくなることが明らかになった ($L/2$ の時 $K_R = 0.6 \sim 0.7$ 、 $L/4$ の時 $K_R = 0.4 \sim 0.5$) ので、複列スリット壁については主として間隔 $L/4$ の場合について K_T 、 K_R を求めた。複列スリット壁は $d/S = 4/1$ および $4/2$ の縦型と横型の組合せとした。実験結果から K_T 、 K_R 、 K_0^2 と H/L との関係を示すと図-7 のとおりである。図から明らかなように、 K_T は単列スリット壁の場合と同様に H/L の増加にしたがって単純に減少するが、 K_R は H/L の増加にしたがって増加せず、 $H/L = 0.052$ を

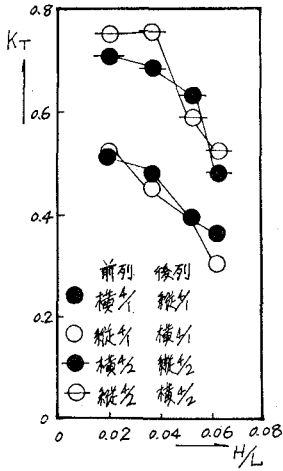


図-7 (a) K_T

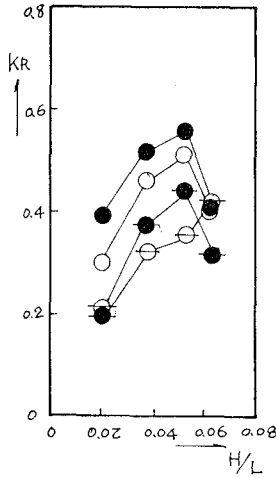


図-7 (b) K_R

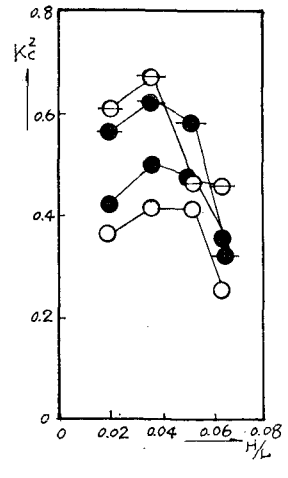


図-7 (c) K_c^2

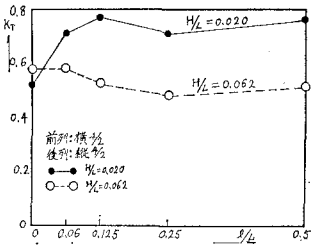


図-8 (a) K_T

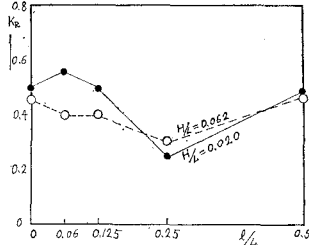


図-8 (b) K_R

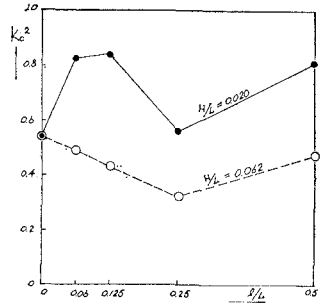


図-8 (c) K_c^2

境としてむしろ減少する。もちろん K_T は $d/S=4/2$ の場合の方が大きい縦、横いずれを前列に用いるかについてはほとんど差がない。また、 K_R は $d/S=4/1$ の方が大きい前列に横スリットを用いた方が有利であることが明らかに認められる。結局、保存係数 K_c^2 で比較すると空隙率を小さくした方が有利で、特に H/L の小さい場合には有利である。

次にスリット壁間の間隔が K_T, K_R, K_c^2 におよぼす効果を明らかにするため、前列横スリット壁、後列縦スリット壁 (いずれも $d/S=4/2$) の組合せで $l=0 \sim L/2$ の範囲について実験を行った。その結果を示すと図-8のとおりである。図から明らかなように、反射率 K_R については前述のスリット壁-不透透壁の組合せと同じように $L/4$ の場合が最小となり、間隔 l の増減にしたがって K_R は増加している。これに対し K_T は $L/4$ の場合が最小ではあるが、間隔による差異はあまり顕著ではない。結局、エネルギー損失は $L/4$ がもっとも大きい、これは主として K_R の減少に負うものである。なお、 $l=0$ は縦、横スリット壁を密着させるもので、他の l のものとは構造的に異なるが参考のため示した。

5. 結 論

縦、横のスリット壁ならびにこれらを組合せた複列スリット壁について一連の実験を行い、その結果を考察してきたが要約すると次のとおりである。

- (1) 縦、横型スリットとも伝達率は基準値と同一の傾向を示すが、その値は基準値のほぼ 1.1~1.8 倍となる。また反射率は基準値の 1/2~1/4 となり、空隙率の増大に伴う減少傾向も基準値とかなり異なる。
- (2) 同一空隙率でスリット幅が異なる場合には、幅の大きい方が伝達率はやや大きく、反射率は小さい。
- (3) 他の透過性構造物と同様に縦、横型スリットとも伝達率は波形勾配の増加とともに減少する。同時に反射率はこの逆の傾向を示す。
- (4) 伝達率、反射率とも横型の方が縦型より数%小さい。
- (5) 透過壁と不透透壁を組合せた複列壁においては間隔 $l=L/4$ の方が $l=L/2$ に比べて反射率の減少効果は非常に大きい。スリット壁同志を組合せた場合にも $L/4$ の効果が最も大きい。
- (6) 複列スリット壁の場合、伝達率は波形勾配にと

もなって単調に減少するが、反射率は単調に増加せず、波形勾配が0.052を境としてむしろ減少する。

(7) 複列スリット壁の場合、その間隔が $L/4$ で保存係数が最小になるが、これは主として反射率の減少効果によるものである。

6. あとがき

反射率の値が全般的に期待よりも小さいことに関し、ヒーラーの方法に疑問をいだき、種々の点から検討して確認したいと思っている。またスリット壁の組合せに関してもケース数も少なく、複列壁の有機的な効果についても十分な検討を行っていない。後刻機会を得て明らか

にしたいと思う。

参 考 文 献

- 1) 第三港湾建設局神戸調査設計事務所：高松港水理模型実験，45・10
- 2) 同 上：神戸港—4m 物揚場模型実験報告，44・3
- 3) 時川：直立消波岸壁の消波効果，北海道開発局土木試験所月報，49・11
- 4) 榎木・岩田・森永：横スリット防波堤の水理特性について，昭和49年度土木学会関西支部年講概要，49・5
- 5) 榎木・岩田：透過性構造物による波の変形について，第19回海岸工学講演会論文集，47・11