

直立透水壁型防波堤の波力に及ぼす要因についての実験的研究

浦島三朗*・近藤倅郎**

1. 緒 言

透水壁を使用した直立型の消波構造物は、従来その消波効果から港内の護岸等に多く用いられてきた。しかしその消波効果の他に、占有面積および透水性が可能であることを考慮すると、今後第一線級の外郭施設としての防波堤および海岸保全施設としての離岸堤などにも適用されてくるものと考えられる。その際、波浪変形は無論のこと、安定性の問題から堤体全体に作用する全波力の推定が必要となる。二次元的にはこれらの特性については、実験的および理論的にある程度解明されている（近藤・竹田, 1983）。また平面的にも無限に長い構造物に対しての斜め入射については、ある程度研究されている（工藤ら, 1981；谷本・吉本, 1984）。しかし有限な長さで消波機能を有する透水壁を使用した構造物について、波浪変形および波力に関する研究は非常に少ない。そこで本研究では有限な長さの島堤形式の直立消波構造物に対して平面実験を行い、波浪変形および波力に及ぼす要因について検討したものである。

2. 実験設備及び方法

図-1に実験水槽の概略図を示す。本研究に用いた水槽は、平成2年に室蘭工業大学の地域共同研究開発センター（CRD センター）内に設置され、内側寸法が長さ $L=9.0\text{ m}$ × 幅 $B=6.0\text{ m}$ × 深さ $D=0.48\text{ m}$ の3次元水槽である。造波装置は、日本テトラポッド（株）製の3次元不規則波造波装置である。11台のピストン型造波機を、10枚の造波板により連結した『スネーク式造波システム』を用いており、造波板の動きは位置制御によって行われている。また、水槽周辺からの反射波を軽減するために、金網式の枠組みにヘチマロン、消波マットを組み合わせた直立式の消波工を設置している。

図-1の水槽中央に設置した堤体模型は、奥行き 35 cm × 幅 30 cm × 高さ 35 cm の箱型ケーソンを5個並べ、堤体全体として奥行き 35 cm × 長さ 150 cm × 高さ 35 cm である。堤体模型の種類は、各ケーソンの前後の壁に

不透過壁を用いた完全不透過堤、各ケーソンの前壁に図-2に示すスリット壁を用いた1枚スリット壁不透過堤および各ケーソンの前後の壁に図-2に示すスリット壁を用いた1枚スリット壁不透過堤および各ケーソンの前後の壁に図-2に示すスリット壁を用いた2枚スリット壁透過堤の3種類である。波高計は島堤の軸方向に 30 cm 、その直角方向に 20 cm 間隔で設置し、直進波は模型周辺の片側82ヶ所、斜め入射波は図-1に示す模型周辺の154ヶ所で波形を記録した。波力は堤体中央および

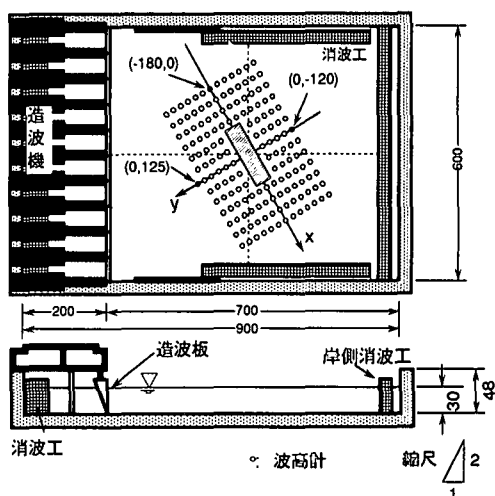


図-1 水槽および実験概要図（単位：cm）

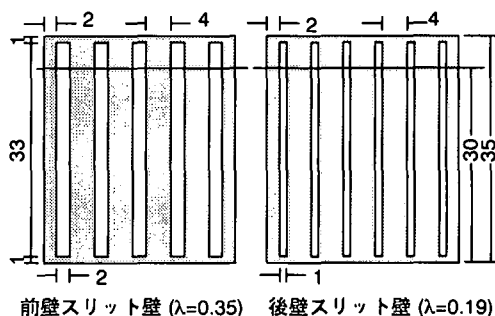


図-2 スリット壁概要図（単位：cm）

* 正会員 苫小牧工業高等専門学校助教授 環境都市工学科
 ** 正会員 工博 室蘭工業大学教授 工学部建設システム工学科

端部の箱型ケーソンに三分力計を取り付けて測定し、また堤体前後の波形も波力と同時に記録した。

入射波高の検定には、合田ら (1976) による分離推定法を用いた。実験は、入射波の周期が $T=0.8, 1.0, 1.2$ sec の 3 種類、入射波高が $H_I=2, 3, 4$ cm の直進波および入射角 $\theta=60^\circ$ の斜め入射波の規則波で行ない、水深を $h=30$ cm と一定にした。水槽内では模型堤体、岸側消波工および造波板による反射によって、水槽内の波は多重反射系となる。実験では、水槽内において多重反射系の波がほぼ定常状態となったと思われる造波後約 60 秒後から、50 および 80 msec 間隔で、2,048 個のデータを収集した。

3. 実験結果及び考察

(1) 波向き分布

波向きは 2 台の波高計による同時波形記録の時系列からクロススペクトルを求め、その位相差から波向きを決定している。図-3 に直進波、図-4 に斜め入射波の各模型周辺の波向き分布図を示している。図-3 の直進波は下から上へ、図-4 の斜め入射波は図の左下より右上に $\theta=60^\circ$ の角度で入射している。各図とも図中の線は波向きの方向を示すが、その向きは計算されない。また図中の空白の部分には計算不可能なデータの箇所を示している。

図-3 の直進波の実験において、完全不透過堤では島堤前面（沖側）は反射波、島堤背後（岸側）は回折波の

影響によって入射波とは異なる波向きを示している。前壁にスリット壁を使用した 1 枚スリット壁不透過堤にすることによって反射波は小さくなり、島堤前面の波向きは入射波に近くなるが、島堤背後では完全不透過堤と同様の波向きを示す。前後の壁にスリット壁を使用した 2 枚スリット壁透過堤にすることによって透過堤となり、島堤前面および背後の波向きは入射波とほぼ同じ方向を示す。

図-4 の斜め入射波においてもほぼ直進波と同様の傾向を示しており、完全不透過堤の波向き分布は、反射波の影響により島堤前方の波向きは入射角より小さく、島堤に沿うような波向きになっている。また島堤後方においても波の回り込みにより、島堤の左側は入射角より小さく、右側は逆に入射角より大きくなる。1 枚スリット壁不透過堤の波向き分布についても、完全不透過堤と同様の傾向が見られる。しかし島堤前方においては反射波が完全不透過堤よりも小さくなることから、波向きは入射角より小さくなるが完全不透過堤ほど小さくはない。2 枚スリット壁透過堤の波向き分布についても完全不透過堤と同じような傾向が見られる。しかし島堤後方において完全不透過堤および 1 枚スリット壁不透過堤に見られた計算不可能な箇所が少なくなり、透過波の影響が強く出ているものと思われる。また直進波および斜め入射波において周期による違いはあまり見られなかった。

(2) 波高分布

図-5 に直進波における防波堤前方の波の進行方向に対する波高分布の一例を示す。横軸は測定位置の座標値を波長で無次元化した距離、縦軸は実測波高を入射波高で無次元化した波高比をとっている。また実験結果との比較のための数値計算の結果を実線で示している。数値計算には、高山 (1981) による回折計算を用いた。この計算は近似計算であり、防波堤の奥行きは非常に薄く、防波堤のまわりは無限に広がっているものと仮定している。また入射波高によって波高比は変らない。なお防波堤による任意の反射波を考慮することができ、ここでは実験に用いた模型が直立式の完全不透過堤であることか

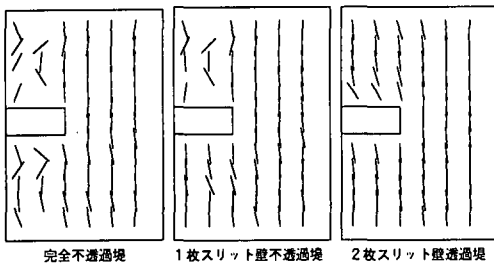


図-3 直進波の波向き分布図 ($T=1.0$ sec, $H_I=3$ cm)

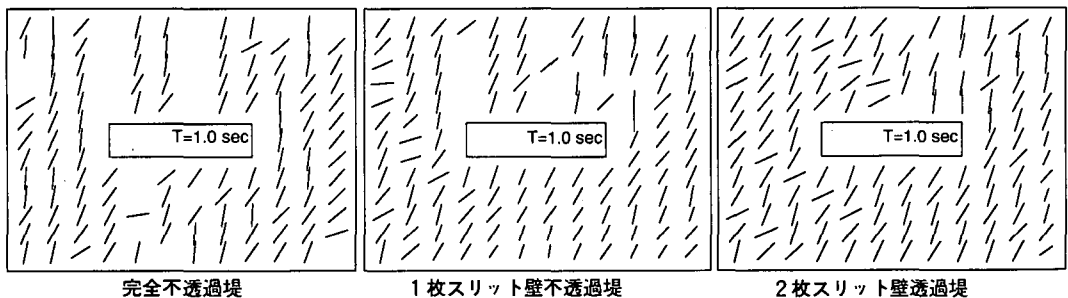
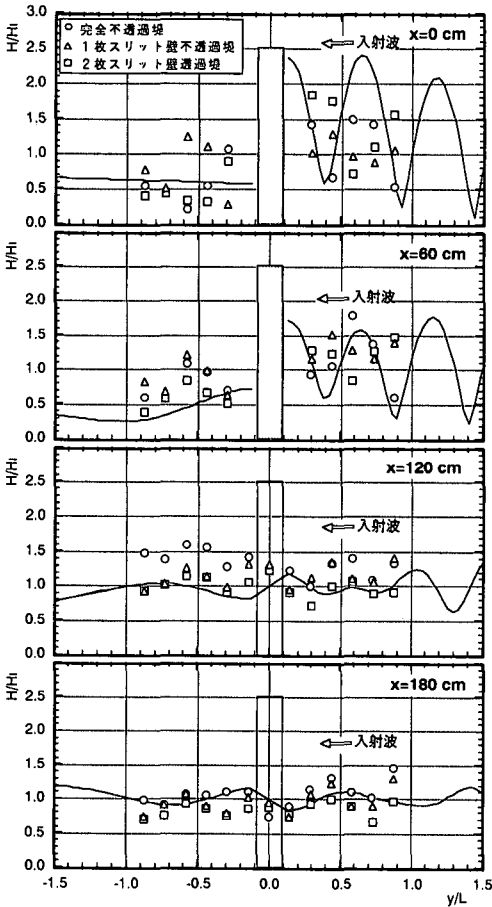


図-4 斜め入射波の波向き分布図 ($T=1.0$ sec, $H_I=3$ cm)

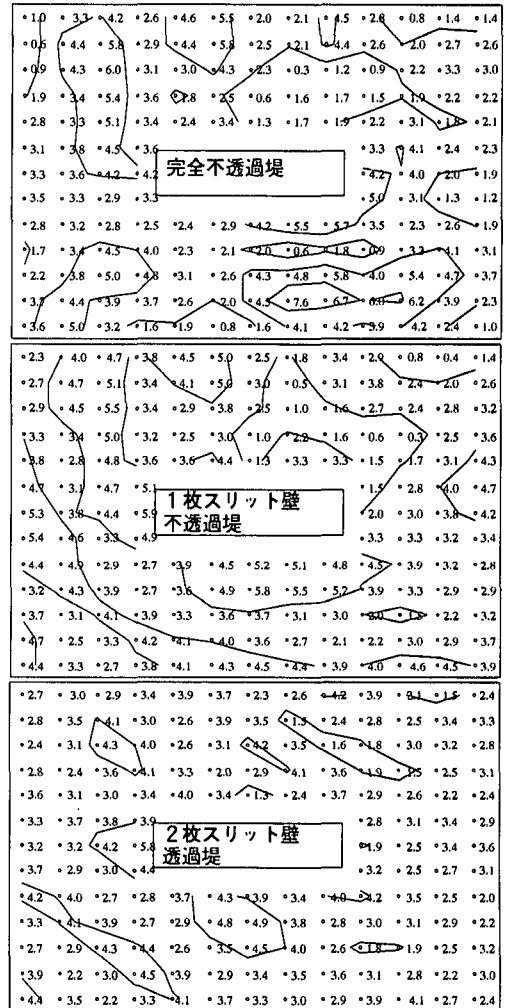
ら、その反射率 $K_R=1$ として計算を行った。実験では入射波高 $H_I=2\text{ cm}$, 3 cm , 4 cm で行ったが、波高比の分布形状は数値計算の仮定と同様にほとんど変化しない。各模型において防波堤前方 ($y \geq 0$) でかつ $x \leq 75.5\text{ cm}$ の範囲では、図の $x=0\text{ cm}$, 60 cm にみられるように、入射波と防波堤による反射波によって重複波が形成される。

図一に斜め入射波における各模型の波高分布を示している。入射波は、図の左下より右上に $\theta=60^\circ$ の角度で入射している。図中の数字は、各測定位置の波高を cm 単位で表し、 2 cm ごとに等高線をいれている。完全不透過堤の波高分布は、島堤前方および左側方に大きな波高が見られ、それらが島堤に回り込み島堤背後の静穏域も狭くしている。実験では周期が長くなるにつれ、島堤前方の波高の大きな範囲が狭くなりかつ島堤より離れた位置で生じるようになる。ただ測定できなかったが、島堤前面において重複波の腹となり大きな波高が生じている。また周期が長くなるにつれて島堤背後の静穏域も広くなるが、波高の比較的大きな波も島堤左端より回り込んで

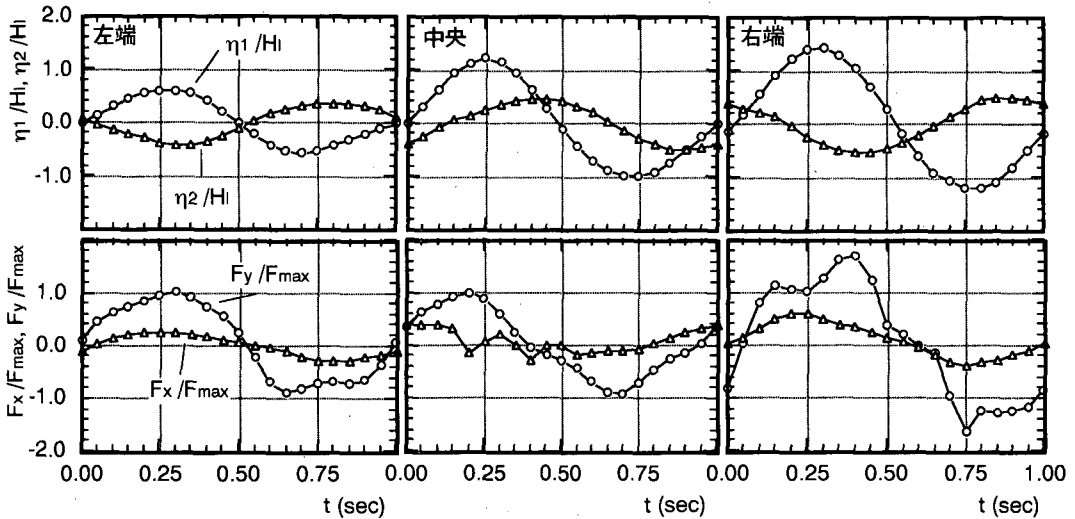
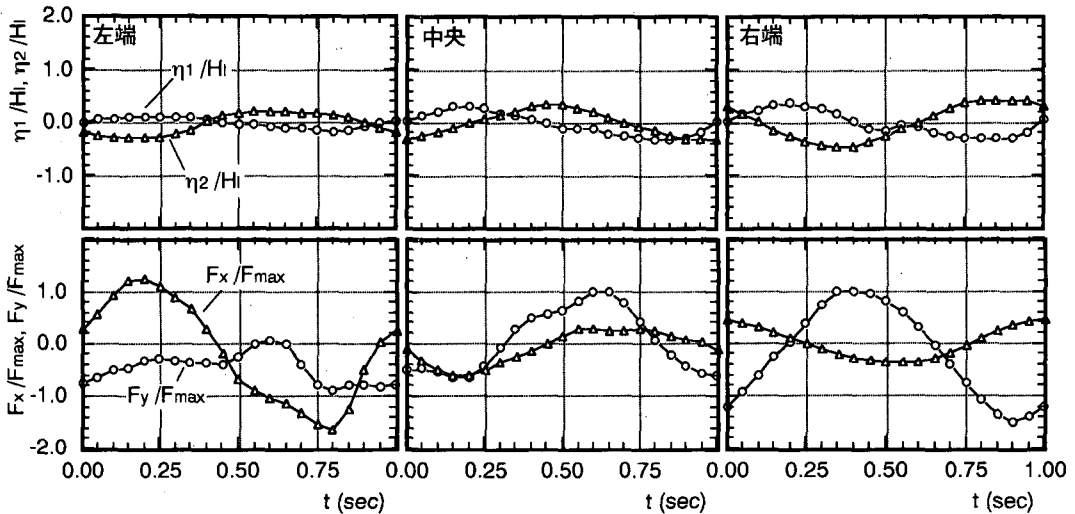
くる。島堤右端では逆に短周期の時に波が回り込みやすくなる。1枚スリット壁不透過堤の波高分布は、完全不透過堤に比べ前壁スリット壁による消波効果により、波高 4 cm および 6 cm 以上の大きな波高が生じる範囲は狭くなり、島堤背後においても波高 2 cm 以下の静穏域が広がっている。また島堤による重複波の腹は前壁スリット壁の位置ではなく、後壁の不透過壁で生じるため、島堤前面の波高も完全不透過堤に比べ小さくなっている。周期による波高分布の影響は、前述の完全不透過堤と同様の傾向が見られる。2枚スリット壁透過堤は、前壁および後壁にスリット壁を使用しているため、1枚スリット壁不透過堤に比べある程度の透過波を許すが、同時に反射率も小さくなる。島堤前方の波高は、1枚スリット壁不透過堤の波高に比べさらに小さくなっている。しかし、波を透過するため島堤背後の波高 2 cm 以下の



図一 直進波の波高分布図 ($T=1.0\text{ sec}$, $H_I=3\text{ cm}$)



図二 斜め入射波の波高分布図 ($T=1.0\text{ sec}$, $H_I=3\text{ cm}$)

図-7 完全不透過堤の波形、波力の時系列 ($T=1.0$ sec, $H_1 \cong 4$ cm)図-8 1枚スリット壁不透堤の波形、波力の時系列 ($T=1.0$ sec, $H_1 \cong 4$ cm)

静穏域は、1枚スリット壁不透堤に比べ狭くなる。

(3) 波 力

図-7, 8, 9に斜め入射波における各模型の堤体前後の波形 η_1 , η_2 および波力 F_x , F_y の時系列を示す。波力 F_y は岸方向の波力を正とし、 F_{max} は中央の堤体の最大波力である。また沖側から岸側に向かって左端、中央および右端と定義した。

図-7の完全不透過堤では左端、中央の波力はほぼ同程度の大きさであるが、右端の岸側方向の波力 F_y が非常に大きくなる。これは堤体前面の波高が大きく、堤体前後の波形の位相がずれて水位差が大きくなるためと考えられる。図-8の1枚スリット壁不透堤では、中央に比べて右端の波力 F_y が図-7と同様に大きくなって

る。また左端では堤体側壁に作用する波によって、 x 方向の波力 F_x が他の部分に比べて大きくなる。図-9の2枚スリット壁透過堤においても同様に右端の F_y および左端の F_x が他の部分に比べて大きい。

図-10は中央部における正負の岸側波力の最大値を各模型で整理したものである。各模型ともばらつきはあるが、周期 T によってあまり変化せず、入射波高 H_1 に比例して最大波力は大きくなり、正負の値もほぼ同程度の大きさである。またスリット壁を使用することによって波力は非常に小さくなり、1枚スリット壁不透堤では完全不透過堤の半分以下、2枚スリット壁透過堤では1/8程度の波力になる。

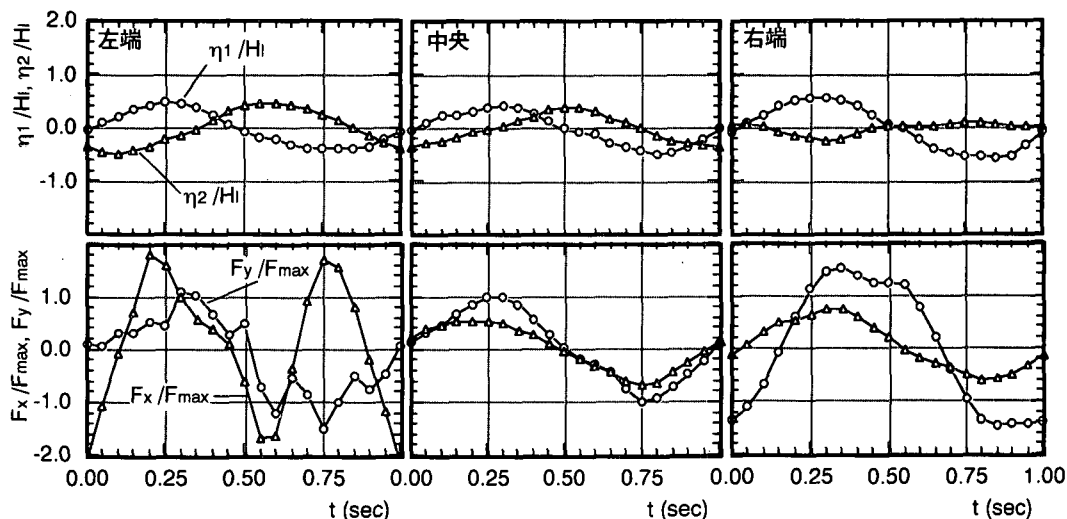


図-9 2枚スリット壁透過堤の波形，波力の時系列 ($T=1.0$ sec, $H_l \approx 4$ cm)

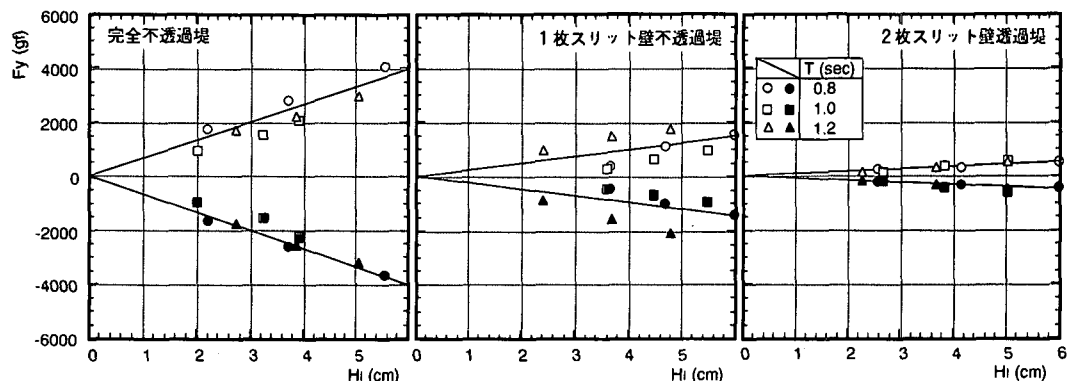


図-10 堤体中央ケーソンの入射波高と最大波力の関係

4. 結 言

スリット壁を使用することにより波向きの変化は小さくなり，堤体前面の波高も小さく，波力を非常に小さくすることができる。また右端の岸側方向の波力は，波の回り込みにより中央に比べ大きくなり，左端の堤体軸方向の波力はケーソン側壁の波高が大きく，この部分の波の作用によって中央に比べ大きくなる。直立透水壁型消波構造物は，島堤に対しても消波および波力の面から有効な構造物と考えられる。

参 考 文 献

- 工藤秀雄・長友文昭・辻 清次・橋立洋一・米澤 朗 (1981): 斜め入射波に対する直立消波構造物の消波特性について—水理模型実験報告—, 第28回海岸工学講演会論文集, pp. 377-380.
- 合田良実・鈴木康正・岸良安治・菊地 治 (1976): 不規則波実験における入・反射波の分離推定法, 港湾技研資料, No. 248, pp. 1-24.
- 近藤俊郎・竹田英章 (1983): 消波構造物, 森北出版, 279 p.
- 高山知司 (1981): 波の回折と港内波高分布に関する研究, 港湾技研資料, No. 367, pp. 1-140.
- 谷本勝利・吉本靖俊 (1984): 斜め入射波に対する曲面スリットケーソンの反射および部材波力特性に関する実験的研究, 港湾技研資料, No. 493, pp. 1-49.