

スリット型海域制御構造物の碎波力特性と設計波力

萩原 運弘*・藤原 隆男**・宇多 高明***・村井 禎美****

1. ま え が き

図-1 に示すスリット型海域制御構造物は従来の離岸堤とは異なり、海洋性レクリエーションを可能にする静穏海域を創出し、かつ洗掘を防止するために開口比の異なる三枚の直立スリット壁が、ある吃水深のところまで設置された新しい形式のカーテンウォール型の透過性構造物である。本構造物の消波特性は既に実験(宇多ら, 1987)や理論解析(萩原ら, 1988)により検討されており、目標とする透過率 $K_T \leq 0.6$ 、反射率 $K_R \leq 0.5$ を満足する構造諸元も明らかにされている。しかし、設計波力算定の観点から碎波を含む高波浪時の波力特性が明らかになっておらず、構造物の安定性を検討する上で重要な課題として残されていた。また波力の一般的な算定方法として、谷本ら(1987)は波力低減係数を導入した合田式を準用する方法を提案しているが、合田式が不透過な防波堤に対するものであるため透過性構造物に対する設計波力を精度よく評価できないものと考えられる。

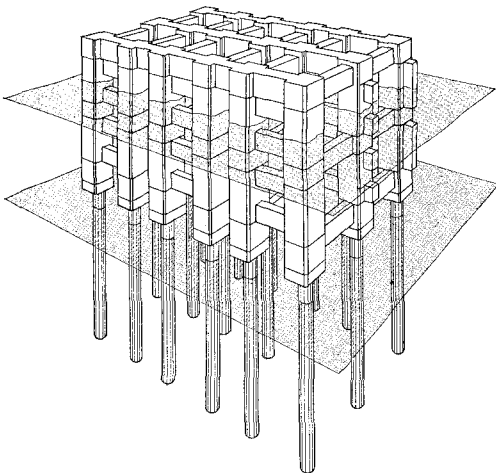


図-1 スリット型海域制御構造物

本研究は、スリット型海域制御構造物に対して重複波から碎波領域にいたる波力実験を実施し、全波力および部材波圧の特性を明らかにするとともに、波力に影響を及ぼす要因を考慮した安定性の検討に用いる実用的な波力算定式を提案するものである。

2. 実験方法

実験は、図-2 に示すように長さ 52m、幅 0.6m、高さ 1.2m の二次元造波水路において、造波機から 32m の位置から岸側へ 1/10 勾配の斜面と水平床を設け、表-1 の構造諸元をもつ模型を水平床上に設置して実施した。この時、入射波高および模型設置位置での水位と波力発生時刻との関係を調べるために波高計を図のように取り付けた。模型は三分割されており、中央の測定用模型はアクリル樹脂材で、また両側のダミー模型は木で製作され、図-3 に示すような構造寸法をもつものである。全波力の測定は、水平および鉛直方向最大 50 kgf (490 N)、回転モーメント 25 kgf・m (245 N・m) まで測定可能な三

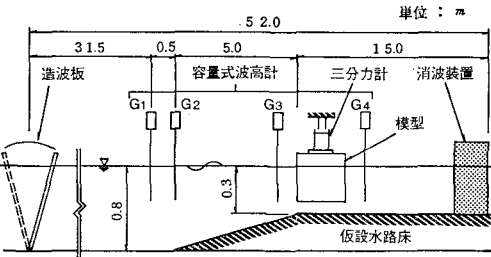


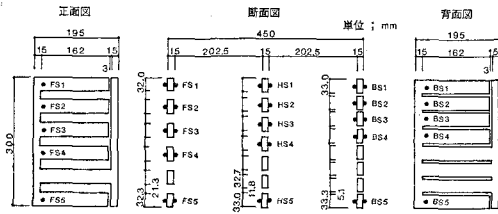
図-2 実験装置

表-1 構造諸元

構 造 条 件		実験模型諸量	記 号
d / h	底 版	h=3.0 cm hc= 6.0 cm B=4.5 cm e ₁ =0.3 e ₂ =0.2 e ₃ =0.1	
0.8	無		
1.0	有		

e_s (s=1, 2, 3) はスリット壁の開口比で $A_{ps}/(A_{ps}+A_{us})$ (A_{ps} : 開口面積, A_{us} : 非開口面積) で定義する。

* 正会員 工修 清水建設(株)技術研究所 主任研究員
** 工修 清水建設(株)技術研究所
*** 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長
**** 正会員 工修 (前)建設省土木研究所海岸研究室

図-3 構造寸法とひずみゲージ取付位置 ($d/h=0.8$)

分力計を模型上部に固定して、また部材波圧の測定は、片持ち梁にした図-3に示す位置の部材にひずみゲージを貼付して実施された。さらに $d/h=1.0$ の場合には、底版の両面に最大容量 200 gf/cm^2 (19.6 kPa) の超小型波圧計を取り付けた。

実験では、周期 $T=1.6, 2.0, 2.4, 2.8 \text{ s}$ の4種類、波高は 16 cm 程度の非碎波から碎波後の波まで5~6種類変化させた。碎波形態はすべて巻き波であり、すべての場合に越波が生じる。なお波高の検定を実験前に行い、模型設置位置での波高と造波ダイヤル値との関係を決定しておき、実験では非碎波条件での波高と造波ダイヤル値の関係を碎波条件の範囲まで直線的に延ばした仮想通過波高 H' を用いて整理した。また、波力の測定データはデータレコーダに記録した後、サンプリング間隔 0.002 sec で A/D 変換し電子計算機で解析した。この場合衝撃応答が問題になるが、構造物全体の水中固有振動数は 18 Hz 程度、また部材の水中固有振動数は 100 Hz 程度であったので、応答系の固有振動数の55%以上をカットすることとし(谷本ら, 1983)、測定結果の解析では 50 Hz 以上の周波数成分をカットした。

3. 実験結果と考察

3.1 全波力特性

測定記録の一例として、吃水比 $d/h=0.8$ 、波高 $H'=36.4 \text{ cm}$ 、周期 $T=2.4 \text{ s}$ の場合の構造物前面および後面の水位変動 η_1, η_2 と水平全波力 F_H および鉛直全波力 F_V の時間波形を図-4に示す。 F_H と η_1 は同位相で変動し、 η_1 が最大になった瞬間に F_H は鋭いピークを示す。すなわち、構造物に水塊が激しく衝突した瞬間に岸向きの衝撃力が働く。その時、 η_2 は静水面を切る位置を上昇中であり、構造物前後で大きな水位差が生じる。一方、 F_V は双峰形の波力波形を示し、最初の鋭いピークは η_1 の上昇に、また第二のピークは η_2 の上昇に対応している。これは、底版がないので、水塊が構造物に衝突すると同時に水底とスリット壁下端の間を通過して外へ流れ出る水流が生じ、構造物には一旦下向きの力が働いたためである。しかし、 $d/h=1.0$ の底版がある場合には、 F_V は双峰形の波形を示さず、 η_1 が最大になった瞬間に F_H と同時に上向きの最大値を示したことを

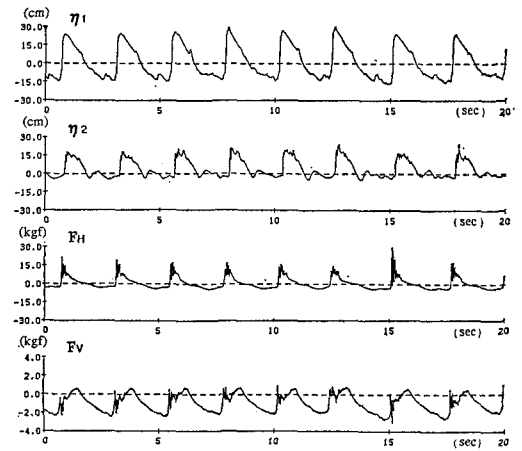


図-4 全波力および水位の測定記録

付記する。

次に、設計における構造物の断面は最大波力により決定されるので、岸向きの最大水平波力について図-5に示す。ここに、 f_H : 単位面積当たりの波力、 w_0 : 水の単位体積重量、 L : 水深 $h=30 \text{ cm}$ おける波長である。また、図中には水平板付透過性構造物の実験結果(国栖ら, 1988)および合田式に波力低減係数 $\lambda=0.6, 0.7$ を用いた計算結果も併せて示している。水平板付透過性構造物の場合と同様に、岸向きの最大波力は波高が大きくなるほど、また長周期波の条件になるほど大きくなっている。合田式を採用した場合、水平波力の上限値としては $\lambda=0.7$ 程度と考えられるが、設計に $\lambda=0.7$ を用いると全体的に波力を過大に評価することになる。また図-6には、上向きの最大鉛直波力について示しているが、底版の無い $d/h=0.8$ の場合には、絶対値も小さく、波高や周期に対する傾向も明確ではない。しかし底

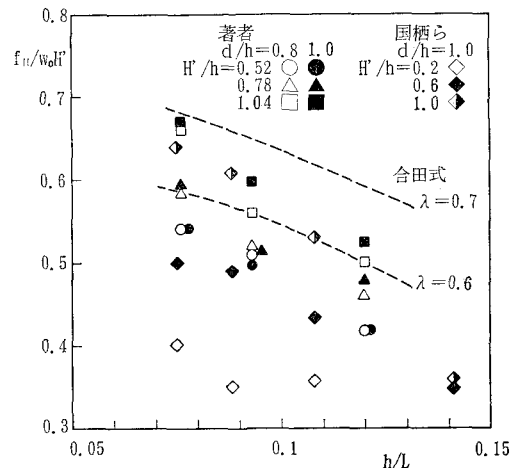


図-5 水平全波力と波高、周期の関係

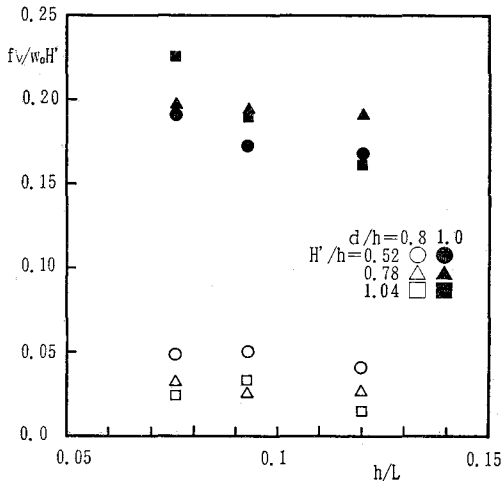


図-6 鉛直全波力と波高, 周期の関係

版を有する $d/h=1.0$ の場合には, ほぼ水平波力と同様な傾向が認められる。

3.2 部材波圧特性

部材波圧波形記録の一例として吃水比 $d/h=0.8$ の場合について, 静水面付近の沖側スリット部材 FS2, 中間スリット部材 HS2, 岸側スリット部材 BS2 の波圧波形を, 構造物前面および後面の水位変動 η_1, η_2 の記録とともに図-7 に示す。FS2, HS2, BS2 は静水面付近にあるため, η_1 が急激に上昇し水塊が衝突すると同時に, 衝撃的な岸向きの力が作用しているが, 引き波時には部材が水面上に露出するため沖向きの力は作用していない。当然, 沖側にある部材ほど大きな力が働き, 波力が働き始める時刻も早く, かつ作用時間も短い。岸側スリ

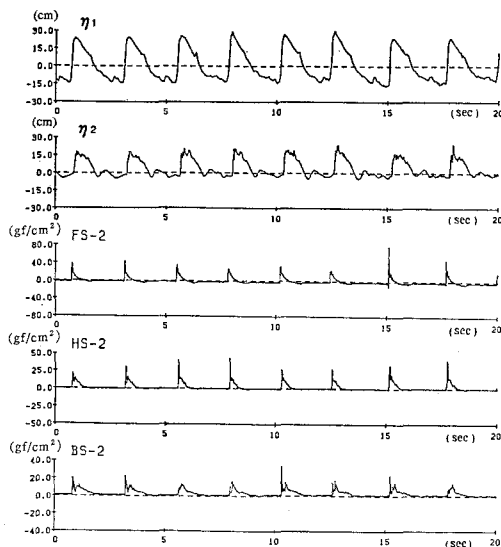
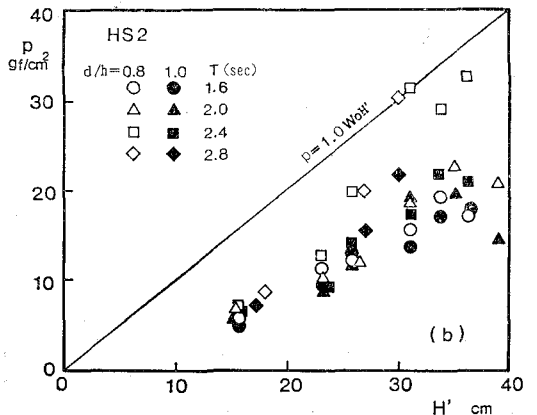
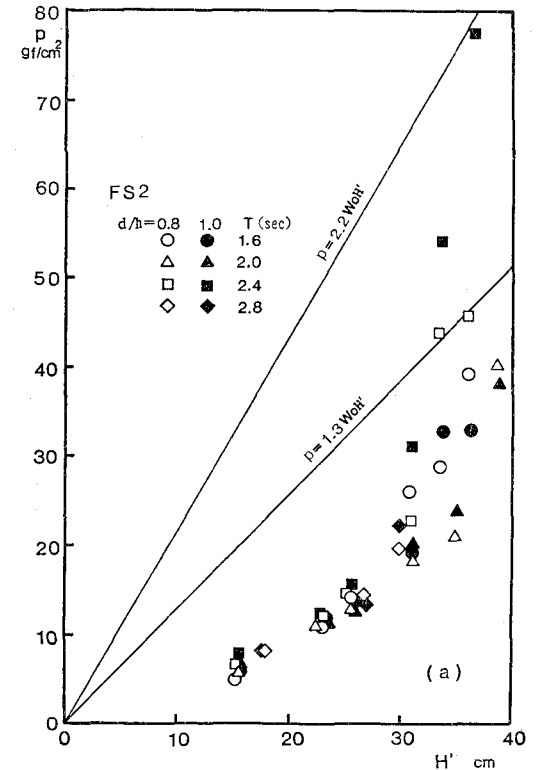
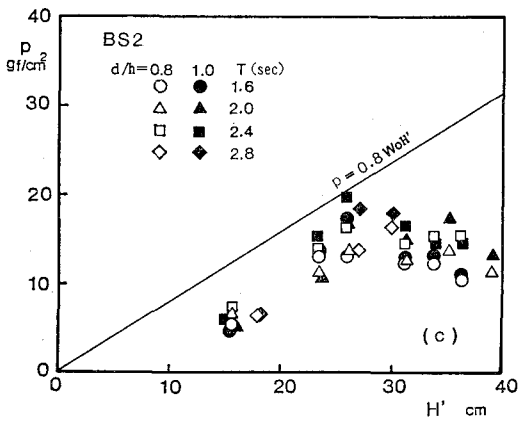


図-7 部材波力の測定記録

ット部材 BS2 の波圧波形には二つのピークが認められるが, これは, 岸側スリット前面の水位がまだ充分に上昇しきらないうちに中間スリットを通過してきた水塊が岸側スリットに衝突するためと考えられる。そして, 水塊が岸側スリットに衝突した後も岸側スリット前面の水位は上昇するため, 波圧波形にはピーク後の腰掛け部分が明確に現れている。

次に, 部材に作用する最大波圧の一例として, 沖側スリット部材 FS2, 中間スリット部材 HS2, 岸側スリット部材 BS2 の波圧 p と波高 H' , 周期 T との関係を図-8 (a)~(c) に示す。FS2 の p 値は, $d/h=0.8$,

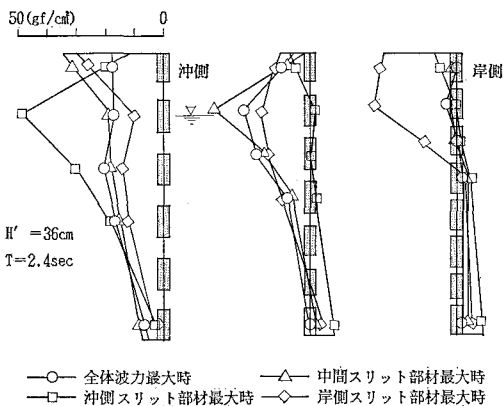




図—8 部材波圧と波高、周期の関係

1.0の場合とも、 $H' \leq 30$ cm の非碎波領域では H' に比例して増大するが、碎波が作用する場合、最大値は $d/h = 0.8$ の時 $1.3w_0H'$ 、 $d/h = 1.0$ では $2.2w_0H'$ となっており、衝撃的な力が発生しやすい状況にあった。また HS2 の p 値は、 $d/h = 0.8, 1.0$ の場合とも、非碎波領域から碎波領域にいたるまで H' に比例して増大し、いずれの場合も $1.0w_0H'$ 以下である。さらに BS2 の p 値は、 $d/h = 0.8, 1.0$ の場合とも、非碎波領域ではほぼ H' に比例して増大するが、碎波が作用する場合には一定か、やや減少する傾向を示し、いずれの場合とも $0.8w_0H'$ 以下となっている。一方、周期については、碎波が作用する場合の FS2, HS2 の p 値は周期の長い方がやや大きくなる傾向を示す。さらに、構造物底版では前端部で上向きの波圧が卓越し、 $p \leq 0.8w_0H'$ 以下であったことを付記する。

図—9 は、 $d/h = 0.8$ の場合の全波力およびそれぞれの部材波圧が最大になる時刻での同時波圧分布を示したものである。いずれの場合も静水面近傍の部材を中心に



図—9 同時波圧分布

して大きな波圧が発生しており、また全波力の大部分は沖側と中間部材に作用する力であることがわかる。

4. 安定性の検討に用いる波力算定式の提案

合田式に類似した波圧分布を仮定した場合、実験から得られた水平全波力 F_H を用いれば静水面における波圧強度の換算値 p_1 は次のように求められる。

$$p_1 = \frac{2F_H}{(2 - h_0/\eta^*)h_0 + (1 - \alpha_3)h} \quad \dots\dots\dots (1)$$

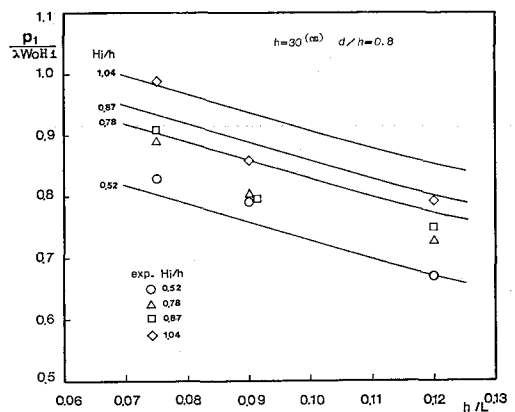
ここに、 η^* は静水面上の波圧強度が零となる高さであり、 α_3 は次式で表わされる係数である。

$$\alpha_3 = 1 - \left\{ 1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h/L)} \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$d/h = 0.8$ の場合について、 $p_1/\lambda w_0 H_i$ と H_i/h 、 h/L との関係を図—10 に示す。ただし、 $\lambda = 0.7$ とし、 H_i は碎波後の波高が減少する波を除いた仮想通過波高 H' を表す。 $p_1/\lambda w_0 H_i$ は H_i/h 大きくなるほど、また h/L が小さくなるほど増加する傾向が認められる。したがって、これらの関係をほぼ平均的に満足する関係式として次式を考える。

$$\alpha_1 = A \sqrt{\frac{H_i}{h}} + \frac{1}{2} \left\{ \frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right\}^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

図中には、上式で $A = 0.6$ とした場合の計算値を実線で示している。すなわち、静水面における波圧強度は $p_1 = \lambda \alpha_1 w_0 H_i$ である。また図には示していないが、 $d/h = 1.0$ の場合に $A = 0.7$ 程度であったことを付記する。



図—10 静水面波圧強度と波高、周期の関係

以上、提案した式の適合性を確認するために、実験結果と計算結果を比較したものを図—11 (a), (b) に示す。平均値±標準偏差の形で表すと、 $d/h = 0.8$ の場合で 0.964 ± 0.045 、また $d/h = 1.0$ の場合には 0.992 ± 0.053 となり、いずれの場合も若干安全側の傾向を示すが、両者の実験値と計算値はよく一致している。

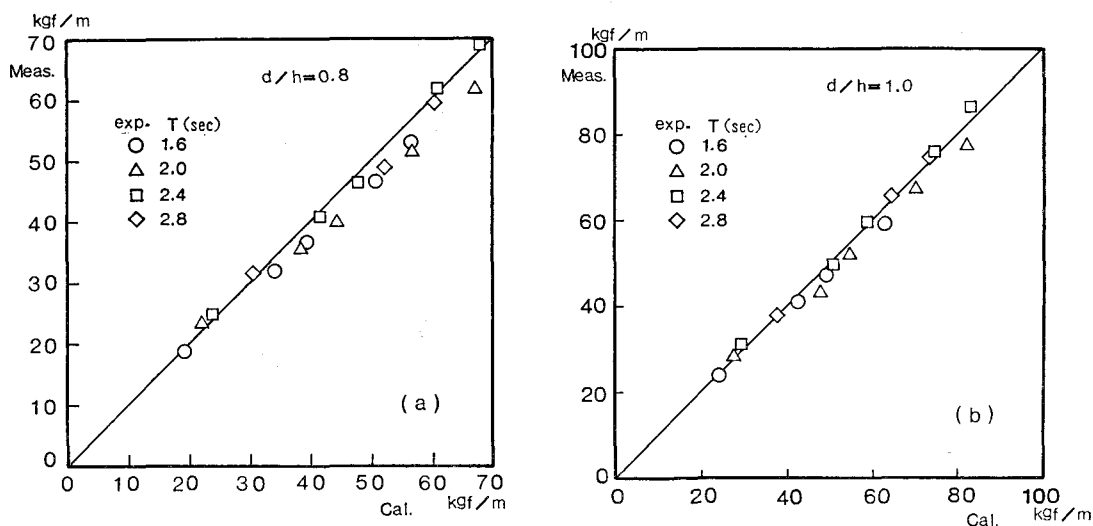


図-11 実験値と計算値との比較

5. あとがき

スリット型海域制御構造物の開発にあたり、設計波力算定の観点から重要な課題として残されていた碎波を含む高波浪時の全波力および部材波圧特性について水理実験により明らかにした。そして、安定性の検討に用いる実用的な波力算定式として、静水面波圧強度 p_1 の係数 α_1 を波高水深比と相対水深の関数で表した合田式に類似した分布を考え、それに波力減係数を乗じる方法を提案した。その結果、構造物全体および静水面近傍の部材には岸向きの衝撃力が働き、特に部材波圧の与え方には留意する必要があること、また、安定性の検討に対する本提案式は若干安全側の推定値を与えるが、比較的精度

よく全波力を評価できること等が明らかになった。

参考文献

- 宇多高明ら(1987): 海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(1), 土研資料, No. 2454, pp. 47~88.
- 国栖広志・山崎 剛・福山博信・勝井秀博・小山文雄(1988): 急勾配斜面に設置した低天端透過堤の波力特性, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 667~671.
- 谷本勝利・高橋重雄・吉本靖俊(1983): 衝撃応答波形からの外力推定法について, 港研資料, No. 474, pp. 24.
- 谷本勝利・高橋重雄・木村克俊(1987): 防波堤の構造と水理特性(英文), 港研報告, 26巻, 5号, pp. 12~55.
- 萩原運弘・藤原隆男・宇多高明(1988): スリット型海域制御構造物の透過率, 反射率および全波力の解析, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 532~536.