

急勾配斜面に設置した低天端透過堤の波力特性

国栖 広志*・山崎 剛*・福山 博信**
勝井 秀博***・小山 文雄***

1. ま え が き

近年、海洋空間の多目的利用に対する関心も高まり、関係各機関に於いて種々の海洋空間利用計画が発表されている。計画の目的はそれぞれ異なるものの海岸域を有効に活用するために沖合に新たに構造物を設置して静穏な海域を創成する必要性においてはほぼ共通性が認められる。静穏海域を創成するにあたり構造物に要求される機能として波浪、流れ、漂砂の制御とともに環境の保全や水産物生産の場の提供等多目的に利用できる消波構造物が望ましい。

従来より消波構造物はそれぞれの目的に応じて多くの形式のものが提案されており、特に異型消波ブロックを用いた離岸堤工法がそれなりの成果を挙げている。しかし、海岸域をレクリエーションの場として提供するにはやや狭すぎることや、波浪によってブロックの散乱や沈下の発生に対して維持補修が必要であるなど多少問題も残る。

本研究はこれらの観点から従来の離岸堤の設置位置よりやや沖側に消波構造物を設置することによって海岸域に広い空間を提供するとともに、海域を静穏に保つ機能があり維持補修の少ない新たな形式の離岸堤を開発することである。本研究で提案する構造物は図-1に示すように3枚の鉛直スリット壁と1枚の水平スリット壁および不透過な底板からなる一体構造の透過堤で、固定方法は杭または重力式である。堤体の天端高は波力の低減を目的に静水面の位置と一致した低天端の堤体であり、堤体上で碎波を促進させエネルギー損失による静穏度を高める目的で水平スリットを静水面よりやや低い位置に設置した。消波特性の実験より本構造物が静穏度を十分満足することが確認されているが^{1),2)}、本構造形式に対する波力の一般的な算定方法がないので水理模型実験を行い波力特性に対する検討を行った。今回は先ず水底勾配を1/10と厳しい条件に設定して構造物に作用する衝撃波力の発生等について検討した。

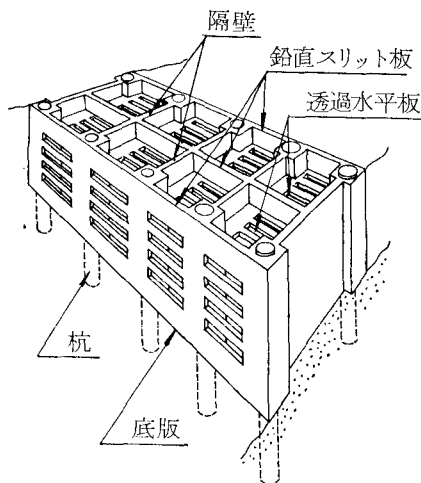


図-1 低天端透過式離岸堤模式図

2. 実験条件

実験に用いた水路は図-2に示すようにフラップ型造波機を有す幅60 cm、長さ50 mの2次元造波水路である。水底勾配は4 mの1/10勾配とこれに続く3 mの水平床を作成した。模型は水平床の始点から $l=0.25, 50, 75, 100, 250$ cmの5地点に設置して非碎波から碎波の種々の波を作用して衝撃波力の発生条件について検討した^{3),4)}。水深は40 cmと46.5 cmの2種類を用い水深の違いによる波力特性の検討を行った。波浪条件は周期 T を1.2, 1.6, 2.0, 2.4, 2.8, 3.2 secの6種類、波高 H を8, 12, 24, 32, 40の5種類とした。模型各部の名称と記号を図-3に示す。模型は高さ46.5 cm、幅24 cm、長さ38 cm、の厚さ15 mmの亚克力樹脂製で、衝撃波力の測定を考慮して剛性の高い一体構造で製作した。鉛直スリット板の空隙率は0.26, 0.30の2種類、水平スリット板の空隙率は0.16の1種類である。堤体に作用する全体波力は水路上部に剛結した3分力計(LMC 3520)に模型を固定し、水平方向 F_x 、鉛直方向 F_z の2方向について測定した。部材波圧は片持バリにした図-4に示すスリット部材に防水加工した

* 正会員 五洋建設(株)技術研究所

** 正会員 五洋建設(株)土木設計課

*** 正会員 工修 大成建設(株)技術研究所

ヒズミゲージ(合計16点)を取りつけて測定した。また、模型の前面と中間部および後面には容量式波高計を取りつけ模型位置での水位と波力の発生時刻との関係を調べた。波高、全体波力、部材波圧の計測は非碎波では0.05 sec 碎波では0.001 sec のサンプリングタイムでA/D変換して全チャンネルのデータを同時に電子計算機に取り込んだ後所定の解析を行った。又、波の作用状況は目視観察とモータードライブによる連続写真及びビデオにより記録した。

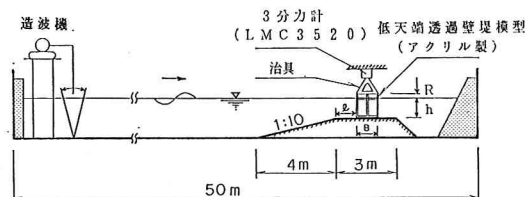


図-2 実験水路諸元

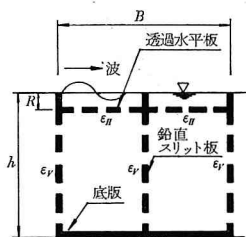


図-3 模型各部の名称と記号

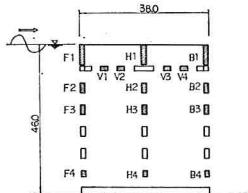


図-4 ヒズミゲージ取付け部材

3. 実験結果と考察

3.1 波の作用状況

堤体に作用する波は周期、波高、堤体位置によって様々に変化するが、周期の短い波では碎波の規模が小さく堤体に作用する波力も比較的小さくなる。周期が2.0～2.4 secの波になると堤体前面で巻き波状の碎波が発生し、堤体には空気を巻き込みながら衝突する。T=2.8 secでは碎波の波形は波の前面が堤体とほぼ直角となり堤体に直接水塊が衝突する。l=1 m, T=2.0 sec, H=40 cmの高波浪の波が碎波状態で堤体模型に使用したときの状況を写真-1に示す。高波浪の波は堤体の前面壁に碎波状態で衝突すると共に、天端上を飛び越えた水塊は堤体の背後域に打ち込む。このため、高波浪時では堤体背後域の静穏度が問題になると考えられるが図-5に示すように碎波条件の消波実験から透過率 K_T は非碎波の場合と同等かそれ以下であり問題の無いことが分かった。

3.2 全体波力特性

波力実験における3分力計で測定した水平力と鉛直力

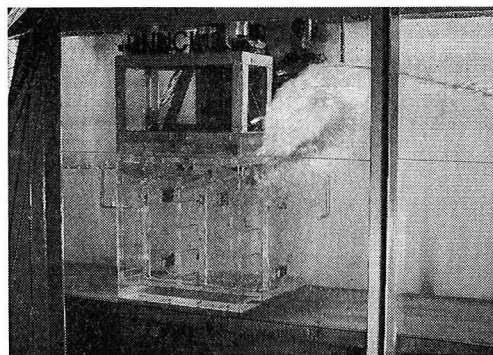


写真-1 波力実験状況 ($h=40$ cm, $l=100$ cm, $T=2.0$ sec, $H=40$ cm)

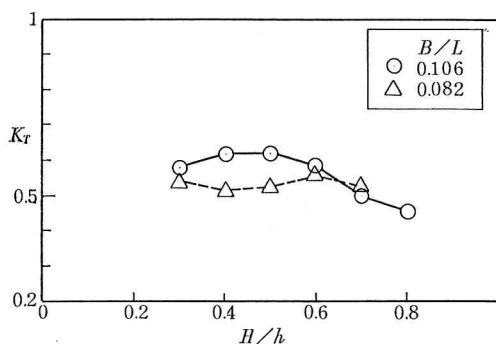


図-5 碎波領域における透過率特性

の時刻歴図を図-6に示す。これは、水深が40 cm、模型設置位置 $l=0$ cm、実験波周期2.4 sec、波高32.0 cmと比較的長周期の碎波の条件である。図には堤体前面と後面の水位波形記録 η_F , η_B も示した。図中の f_x , f_z は堤体の作用面積で除した単位面積当りの波力である。また、 w は水の単位体積重量であり、 H は堤体設置地点での通過波高を示す。図より水平力は岸向きと沖向きの力が、鉛直力は正、負の力が交番に作用する。ここに f_x は岸向きが正、 f_z は上向きの揚圧力が負である。図より岸向き波力が最大になる時刻は、堤体の前面に波の峰が到達したときと一致する。これに対し、最大揚圧力の発生時刻は波高が小さい場合には最大水平力が発生する時刻の位相より約 $T/10$ (T は波の周期)だけ早く発生する。最大水平力が発生する時刻の揚圧力と最大揚圧力を比較すると揚圧力の大きさは最大揚圧力の0.8～1.0倍と平均的にはやや減少傾向を示す。ただし、波高が高い場合には最大揚圧力と同程度となり、このときには揚圧力の減少はあまり期待出来ない。水深40 cm, $l=0$ cmの条件における各周期と波高に対応した最大水平力 $f_{x\max}$ と最大鉛直力 $f_{z\max}$ の結果を図-7に示す。 $f_{x\max}$ は岸向き波力が3倍程度大きく、 $f_{z\max}$ は揚圧力のほうが2～5倍程度大きい。設計における構造物の

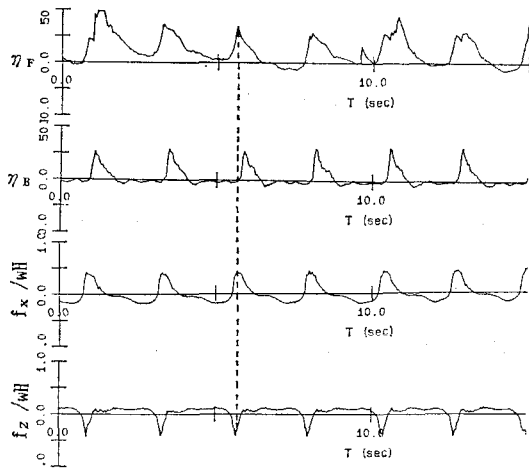


図-6 同時波力 ($h=40$ cm, $l=25$ cm, $T=2.4$ sec, $H=40$ cm)

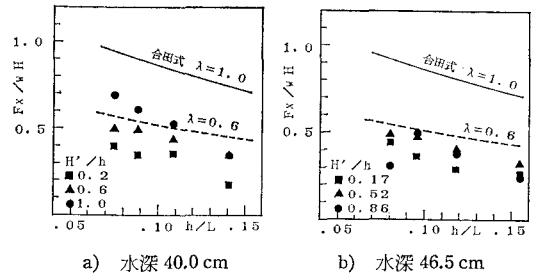


図-8 水深の違いによる全体波力特性

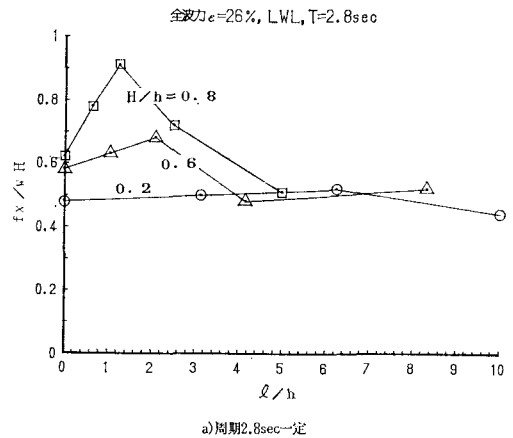


図-7 全波力特性 ($h=46.5$, $l=0$ cm)

断面は最大波力によって決定されるので、以下の検討は岸向きの水平力および上向きの揚圧力に注目して検討する。

水深 46.5 cm のときの水平力の結果を図-8b)を示す。図には混成式防波堤で用いられる合田式の計算結果を実線で示し、同式に低減係数 $\lambda=0.6$ を用いたときの波力を点線で示した。この結果から、本構造形式のように低天端の透過堤体に作用する波力は $\lambda=0.6$ 以下となり混成式防波堤に比べてかなり小さい。一方、同一模型を用いて水深が 40 cm のときの水平力を図-8a)に示す。図より高波浪の条件で低減係数は 0.6 を越え、水平力は水深 46.5 cm のときより大きくなる。水深 40.0 cm では堤体の上部が 6.5 cm 水面から突出した状態となっており、砕波した波を受けやすくなるためと考えられる。水深 40.0 cm に対する水深 46.5 cm の波力は若干の変動はあるものの平均的には約 10% 小さい。以上より、波力を軽減し堤体の安定性を増加するためには、消波機能の許容される範囲で構造物の天端を水面上に突出させないほうがよい。

水平床始点からの堤体距離 l と水平波力の関係の一例を図-9 a) に示す。実験条件は水深 40.0 cm, 周期 2.4

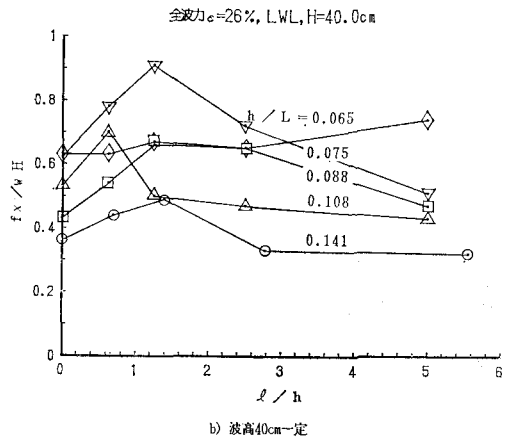


図-9 無次元堤体距離と水平力 ($h=40$ cm)

sec, 波高 8, 24, 32 cm である。堤体の距離は l を堤体設置位置での水深 h で除した l/h なる無次元距離で示す。 $H/h=0.2$ と非砕波の条件では堤体位置が変動しても波力の変化はほとんど無い。 $H/h=0.6, 0.8$ と砕波の条件では $l/h=0.5 \sim 2.5$ の領域で $l/h=0$ の波力に比べて増大することが分る。波力の極大値は、堤体前面からの砕波点距離を l_b とすると、 $l_b=80 \sim 90$ cm の場所で砕波したときに発生し、これは堤体前面の水深を h と

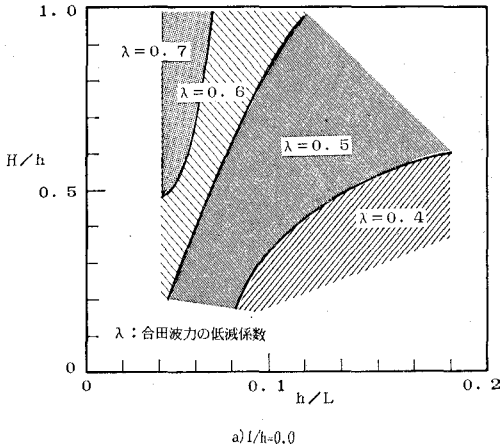
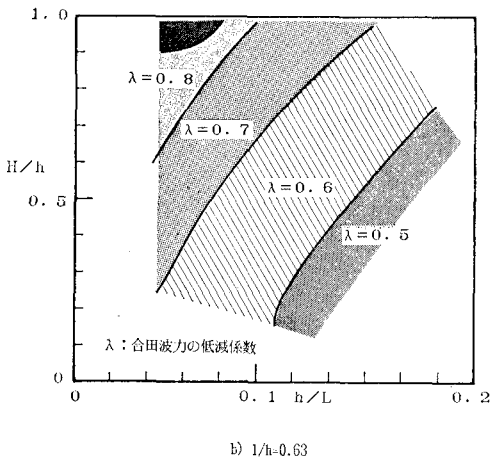
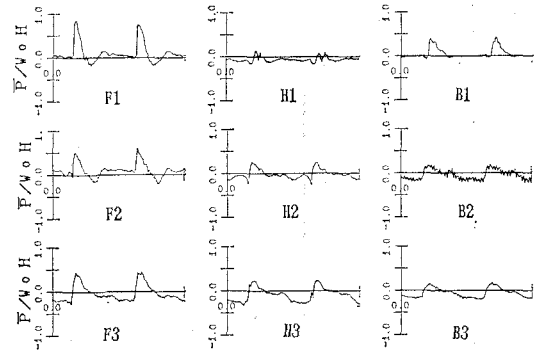
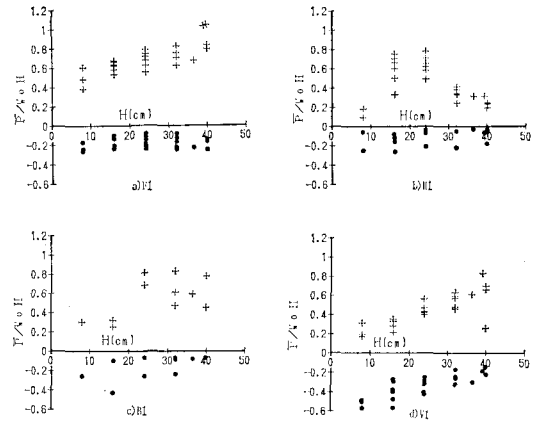
a) $l/h=0.0$ b) $l/h=0.63$

図-10 合田に対する低減係数 (入)

すると $l_b/h=2.0\sim 2.25$ の範囲に相当する。図-9 b) は水深 40 cm で波高 40 cm と高波浪時の周期 1.6~3.2 sec のもので、波力の極大値はいずれの周期に対しても発生することがわかる。以上より、堤体形状および水深が同じであれば、波力の極大値は碎波位置と波高の条件によって決定される。ここで、代表的例として $l/h=0$ と 0.62 の位置における合田式に対する本構造物に作用する波力の低減係数 λ について整理したのが図-10 a), b) である。図から λ は H/h が大きく h/L が小さい程、合田式に対する低減率は小さくなることが分る。

4. 部材波圧特性

スリット壁に大きな波力が作用するのは、構造物が水面上に露出している部材に碎波が衝突するときである。部材に作用する波圧の時刻履歴図を図-11 に示す。実験条件は水深 40.0 cm, $l=0$ cm, 周期 2.4 sec, 波高 40

図-11 部材波圧の時刻履歴図 ($h=40$ cm, $l=0$ cm, $T=2.4$ sec, $H=40$ cm)図-12 部材波圧特性 ($h=40$ cm, $l=0$ cm)

cm のときのものである。鉛直壁の前面側最上段 $F1$ の波圧記録を観ると前傾三角形の鋭い立ち上がりの衝撃圧が作用していることが分る。特に $0.8\sim 1.0 wH$ の大きな部材波圧が作用するのは鉛直スリット壁では $F1$, $F2$, $F3$, $B1$ の部材であり、水平スリット壁では $V1$ と $V2$ の部材である。一方、その他の部材波圧は $0.8 wH$ 以下と比較的小さい。図-12 は鉛直スリット最上段の $F1$, $H1$, $B1$ と水平スリットの $V1$ の部材波力係数を整理した結果である。図より $F1$, $B1$, $V1$ は波高に比例して波力係数も単調に増加する。しかし、 $H1$ の波力係数は $H=30$ cm 以上で減少傾向を示す。これは波の作用状況でも述べたように、波高が高くなると堤体前面で衝突した水塊が堤体上の中間壁を飛び越えて後壁部に落下するためである。

波の周期 2.4 sec, 波高 40 cm, 水深 40 cm, 堤体無次元距離 0.62 のときの水平力最大時における各スリット部材の同時波力分布を示したのが図-13 である。局所的には各スリット部材の波圧は作用方向が逆向きのもの

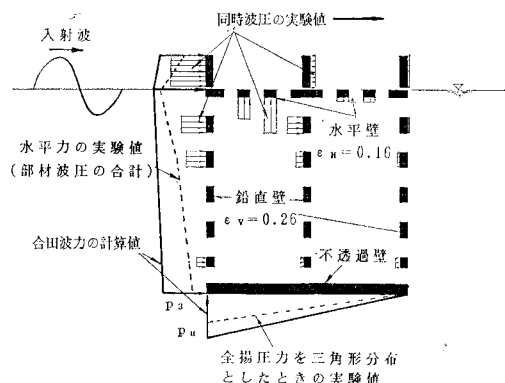


図-13 水平力最大時の同時波圧分布 ($h=40$ cm, $l=25$ cm, $T=2.4$ sec, $H=40$ cm)

もあるが、スリット各段毎の波圧合力は図の点線に示すように比較的単純な台形分布を示す。また、波圧分布図から推察すると水平波力の大部分は鉛直壁の前面で発生するものと考えられる。図中の実線は混成式防波堤の波圧算定で用いられる合田式による波圧の算定結果である。圧分布の合計値から求められる波力は合田式の結果に比べて小さいもののほぼ相似形であると言える。このことから、本構造物のように低天端の透過堤に対しても合田式に低減係数を導入することによって算定することが出来ると考えられる。

5. 結 論

急勾配斜面上に設置した低天端の透過式離岸堤の波力実験から以下のことが明らかとなった。

① 水平方向の波力は岸向きの方が大きく、鉛直方向の

波力は上向きの揚圧力が大きい。

- ② 全体波力を軽減し堤体の安定性を増加する為には、消波機能の許す範囲で天端を静水面上へ突出さない方が良い。
- ③ 波力が極大値を示すのは、 H/h が 0.6 以上で l/h が 0.5~2.5 の範囲である。
- ④ 本構造物に作用する波力は合田式には低減係数を導入することによって算定することができる。
- ⑤ 堤体設置水深の約 2 倍の位置 ($l_b/h=2.0\sim2.25$) で碎波するとき波力は極大値を示す。
- ⑥ 鉛直スリット壁の $F1$, $F2$, $F3$, $B1$ の部材および水平スリットの $V1$, $V2$ の部材には $0.8\sim1.0$ wH 程度の波圧が作法する。

今後、本構造物に対する緩勾配斜面における波力特性についても更に検討を行う予定である。

なお、本研究を進めるに当たり、建設省土木研究所の宇多高明氏より数々の貴重な助言をいただいた。ここに記して深甚なる謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 宇多高明他：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書(1)，土木研究所資料，昭和 62 年 2 月
- 2) 国栖広志・福山博信・宇多高明・村井禎美：透過水平板付スリット堤の消波特性，第 42 回年次学術講演会概要集(II)，pp. 550~551, 1987.
- 3) 高橋重雄・谷本勝利・鈴村諭司：直立壁に作用する衝撃波圧の発生機構に関する一考察，港湾技術研究所報告，第 22 巻第 4 号，1983, 12.
- 4) 谷本勝利・小島朗史・鈴村諭司：二重スリット消波ケーソンの部材に働く波力について，港湾技研資料 No. 416, 1982.
- 5) 合田良実・原中祐人：衝撃碎波圧に関する一実験，港湾技研資料 No. 31.