

透過式消波構造物の漂砂制御機能に関する実験的研究

近藤浩右*・福山博信**・国栖広志**
小山文男***・中塚健司***

1. ま え が き

近年、海域利用の高度化に対する各方面からの要請により、外洋に面した海岸の沖合いに構造物を設置して、海岸線の侵食防止を図るとともに、背後に広く静穏域を確保し、海洋性レクリエーションなど多目的に利用しようという機運が高まりつつある。このような目的に用いられる構造物は、単に波浪や漂砂を制御するだけでなく、海水交換性、集魚性、美観など種々の機能を兼ねることが要求される。このようなニーズに応えるため、種々の透過式消波構造物を対象として、消波特性および波力特性に関する多くの研究がなされてきたが、漂砂制御機能については必ずしも十分な検討がなされていない。本研究では、透過水平板付スリット・ケーソン^{1)~3)}を例にとり、構造物設置時の背後域における流況・漂砂特性および構造物隣接部の局所洗掘特性に関する平面実験結果について報告するとともに、最適配置計画、洗掘対策の方法等について述べる。

2. 対象構造物の概要

本実験に用いた模型構造物は、3枚の透過鉛直壁と水面付近の透過水平板ならびに底板から構成される、低天端着底式のスリット・ケーソンである。水面付近に取付けられた透過性の水平板が海面の上下運動を制御するとともに、低天端着造が砕波を促進して波エネルギーを効

果的に減殺し(写真-1)、波高・周期・潮位等の変化に対して比較的安定した消波機能を発揮する。鉛直壁の開口率を25%、水平板の開口率を15~20%とした場合、通常海域条件($B/L=0.1\sim0.2$, B :堤体幅, L :波長)における透過率は約0.6、反射率は約0.3である¹⁾。また、衝撃的に砕波が作用する場合を除いて、堤体に作用する波力は合田式により算定される値の約60%に低減する³⁾。

3. 波浪・流況実験

幅17m、長さ35.5mの平面造波水槽を幅12mに仕切り、汀線部1/10勾配(水深10cmまで)、沖側1/50勾配のモルタル固定床を製作し、堤体模型を設置して波高12cm、周期2.0sの規則波を作用させ、波高分布、平均水位分布、流向・流速分布を測定した。静穏海域の造成を図る場合には、従来の海岸保全対策としての離岸堤建設と異り、背後水域をなるべく広く確保するため、砕波帯外の比較的水深の大きな位置に構造物を建設することが予想される。そこで、堤体模型を砕波帯外の離岸距離6m、水深20cmに設置した場合(ケース1)と、砕波帯内の離岸距離3m、水深14cmに設置した場合(ケース2)の2通りの条件について実験を行った。いずれのケースとも堤体幅は25cm、堤高は水深と同一であり、堤長は6m、開口幅は2mで、水槽内に1.5基の堤体を設置した。

波高および平均水位の計測には容量式またはサーボ式波高計を、流れの計測(中層)には電磁流速計を使用し、汀線部から沖合約9mの範囲を全幅12mにわたり50cmの格子間隔で、堤体周辺と開口部では25cm間隔で計測した。加えて、開口部と堤体中央部では鉛直方向の流速分布を測定した。これらの計測は、水槽の固有振動の影響を取り除くため、海浜流が定常に達した後、1分間にわたり行った。

ケース1の波高分布、流向・流速分布、平均水位の分布などはすでに中塚ら⁴⁾により報告がなされているので、ここではケース1とケース2の流向・流速分布の比較のみを図-1に示す。不透過堤の場合と異り、堤体岸側では開口部からの回折波と堤体部からの越波および透

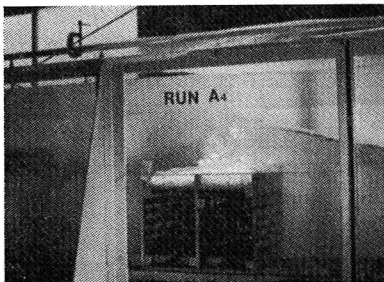
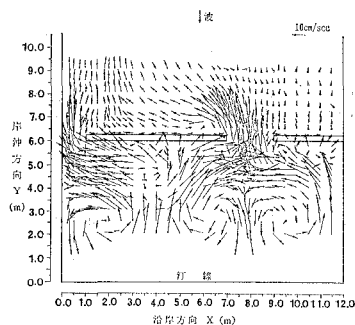
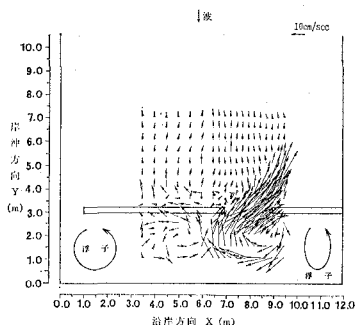


写真-1 構造物への波の作用状況

* 正会員 工修 五洋建設(株) 技術部技術企画課
** 正会員 五洋建設(株) 技術研究所
*** 正会員 工修 大成建設(株) 技術研究所



(a) ケース 1: 離岸距離 6 m, 堤体設置水深 20 cm



(b) ケース 2: 離岸距離 3 m, 堤体設置水深 14 cm

図-1 流向・流速分布

過波とが重なり複雑な波浪場を形成するが、入射波高が比較的大きく離岸距離に等しい堤長を有することもあり、ケース 1 では堤体背後に明確な一対の循環流が形成されている。開口部では 30 cm/s 以上の早い流れが観測されたが、鉛直分布 (1 cm 間隔) の測定では平均 20 数 cm に過ぎず、やや過大となっている可能性もある。また、堤体の直岸側と直沖側の流れは必ずしも連続せず、直岸側では冲向きの流れがあるが、直沖側ではほとんど冲向きの成分が見られない。このような傾向は、堤体中央部の前壁隣接部、堤体内、後壁隣接部における流速鉛直分布の測定でも同様であった。ただし底層部においては、いずれの個所においても冲向きの平均流が観測され、堤体を透過して沖側へ砂の供給される可能性のあることが示唆された。

一方、離岸距離が半分のケース 2 では流速計による計測範囲が限られているので、浮子の追跡により測定した流況を合わせて示した。離岸距離が堤長の半分と短いので、堤体背後の循環流のスケールも離岸距離に見合ったものとなっている。波浪場が左右でやや非対称となったため、右側開口部の岸側に循環流の中心があるが、本来は堤体の右端部岸側にあったものがずれたものと考えられる。堤体中央部背後の弱い左回り循環流の発生も同様の理由によるものであろう。

堤体岸側の波浪場については、波向線座標による放物

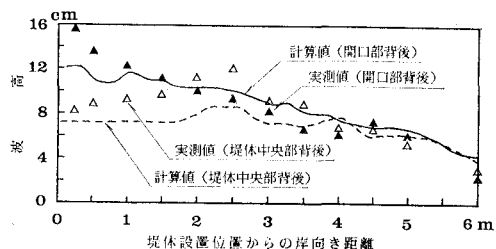


図-2 堤体背後の波高分布

型方程式を用いた屈折・回折・碎波変形の計算法⁵⁾を用い、2次元消波実験で得られた堤体透過率 0.6 を与えて波高分布の計算を行い、ケース 1 の実験値と比較した。結果を図-2 に示す。波と流れの干渉を考慮していないため一部逆流域において計算値は実測値よりも小さな値を示すが、全体的な傾向はほぼ再現されている。

4. 漂砂実験

幅 5 m, 長さ 34 m の平面造波水槽を幅 4 m に仕切り、中央粒径 0.19 mm の比較的粒径のそろった細砂を敷きつめて波浪・流況実験と同様に汀線部 1/10 勾配、沖側 1/50 勾配の初期海浜地形を作り、堤体長、離岸距離、波浪条件を変化させ表-1 に示す 6 ケースの条件下で、波の作用開始後 24 時間までの地形変化を計測した。地形の測定は波の作用開始後 0, 3, 6, 12, 24 時間 (ケース②, ④は 0, 12, 15, 18, 24 時間) に図-3 に示す沿岸方向 4 m, 岸沖方向 10.5 m の範囲を対象として行い、合わせて染料による流況パターンの確認を行った。

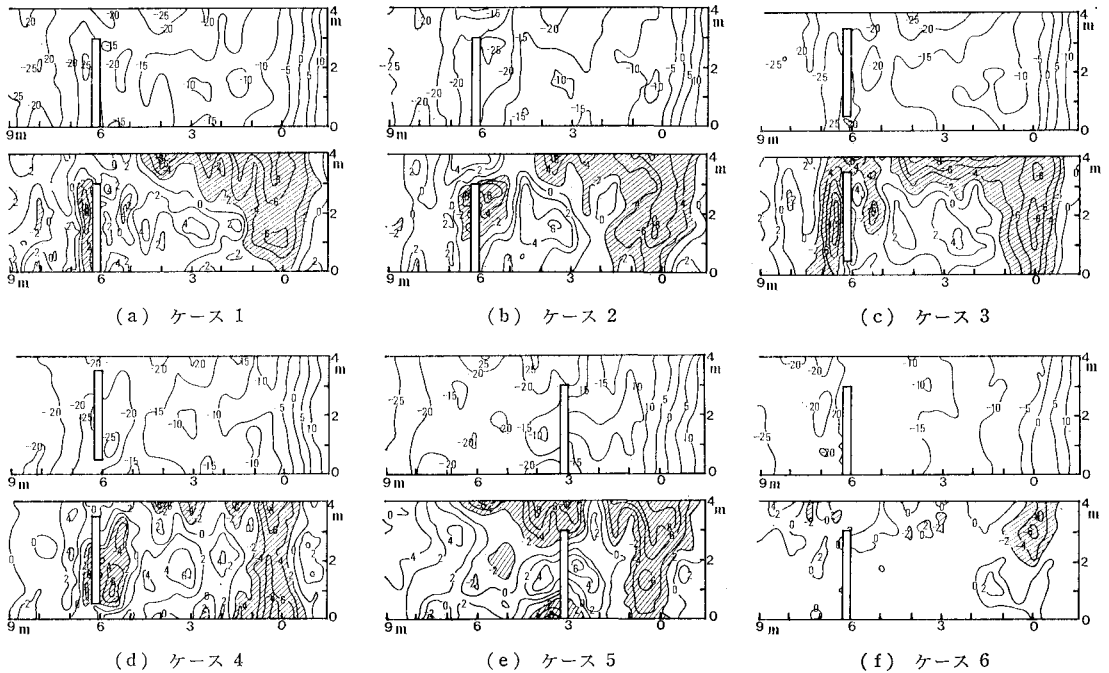
海域制御構造物の漂砂制御機能は地形変化への寄与が大きい侵食性の波浪に対して論じられるべきとの認識に立ち、Sunamura・Horikawa⁶⁾の岸沖漂砂パラメータ C_s を判断基準として実験波浪条件を決定している。前浜勾配 1/10 を用いて算定される C_s の値は、ケース①~⑤が 11.0 で侵食型、ケース⑥が 4.6 で中間型である。

同じ水深に同一施工延長の構造物を建設する場合、1 基の長さとし開口幅をどのように運ぶのが有利かを判断するために想定堤体長 6 m, 想定開口幅 2 m とした場合 (ケース①, ②) と、これらを 3 m, 1 m とした場合 (ケ

表-1 実験条件

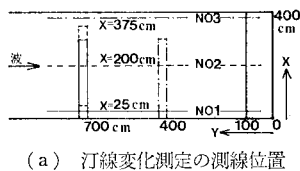
ケース No.	想定堤体長	想定開口幅	離岸距離	設置水深	波高	周期
①, ②	6 m	2 m	6 m	20 cm	12 cm	2.0 s
③, ④	3 m	1 m	6 m	20 cm	12 cm	2.0 s
⑤	6 m	2 m	3 m	14 cm	12 cm	2.0 s
⑥	6 m	2 m	6 m	20 cm	4 cm	1.4 s

ただし、ケース②, ④は波の作用開始 12 時間後に堤体を設置

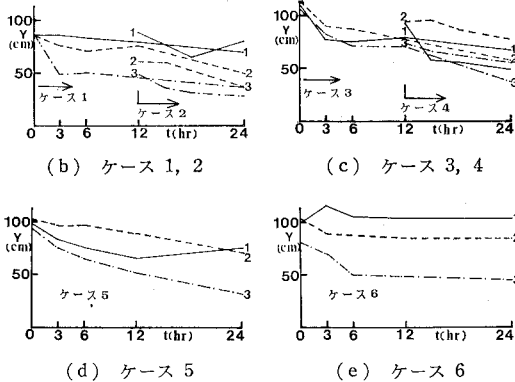


図—3 波の作用開始 24 時間後における水深および水深変化量の分布

(上段: 水深コンター, 下段: 水深変化量のコンター, 単位: cm)



(a) 汀線変化測定の測線位置



図—4 汀線位置の経時変化

ケース③, ④)を対応させ, 加えて, 砕波帯内に構造物を建設した場合(ケース⑤)と堆積性に近い波浪条件(ケース⑥)について実験を行った. なお, ケース②, ④は当初無堤のまま 12 時間波を作用させた後に構造物を設置し, 引続き 12 時間波を作用させた. 図—3 に波の作用開始 24 時間後の水深コンターならびに初期地形と比較した水深変化量のコンターを, 図—4 に代表 3 測線上

における汀線位置の経時変化を示す. 図—3 の陰影部は 2 cm 以上の侵食域を表す.

まず, 波浪条件が同じで堤体の設置時期の異なるケース①と②, ケース③と④を比較すると, 24 時間後の堤体岸側の地形はそれぞれ互いに似通った形状を示しており, 構造物の介在に伴う地形変化が比較的短時間のうちに進行して波の特性と堤体配置に応じた共通の地形に至ったものと考えられる. いずれのケースも汀線付近が侵食され, 堤体の岸側に堆積地形がみられるが, 堤体長が長く開口幅の広いケース①, ②の方が, 堤体長, 開口幅が半分のケース③, ④に比べて堤体岸側に安定した循環流が発生するため, 汀線部(とりわけ開口部に面した部分)の後退量が大きい.

堤体直下の洗掘状況に関しては, 特にケース②, ④において約 10 cm に達する大きな侵食が見られるが, これらは堤体の設置位置が重複波の発生に伴う地形の凹部に相当した効果が大きく, 堤体設置後 12 時間の変化はそれぞれケース①または③に近い. ケース①では波の作用開始後 6 時間で約 5 cm に達する侵食が見られたが, その後汀線部侵食土砂の供給に伴う堆積が堤体に達し, 24 時間後には堤体直下の侵食が消失する結果となった. ケース③では汀線部の侵食が小さい分, 堤体遮蔽部の堆積の進行が遅く, 堤体直下は非対称ではあるが延長の約半分にわたり 10 cm 程度の侵食を受けることとなった. ケース③に比べてケース①の方が重複波の発生に伴う堤体

表-2 洗掘実験の対称模型と実験結果

模 型 の 形 状	堤 体 周 辺 の 洗 掘 状 況		堤体周囲の洗掘深の分布 (単位: cm)
	沖 側	岸 側	
標準型			
底板無し			
下部スリット無し			
つば取付け			
スカート取付け			
不透過堤			
不透過潜堤			

沖側の侵食量が小さいことも、堤体を冲向きに透過する漂砂量の差により同様な説明が可能である。

次に、堤体長、開口幅が等しく離岸距離の異なるケース①とケース⑥を比較する。離岸距離の短いケース⑥では堤体中央部(図-3では下端)岸側への回折波の回込みがケース①に比べて小さいため堤体背後の汀線後退量は比較的小さいが、開口部に面した汀線部の後退量はむしろケース①より大きく、24時間後もその傾向はあまり弱まらない。また、堤体先端から1~2mの部分で堤体岸側に隣接する堆積地形の発達が大きく、堆積砂の一部は堤体を透過して沖側に流出して沖側にも顕著な堆積域が発達している。汀線部侵食砂の供給が少ない堤体先端部および先端から2~3mのところ(鏡像を考えると堤体中央部に当る)では侵食傾向が強く、堤体直下の洗掘深は10cmに達する。ただし実際の海岸では、波向の変動や沿岸方向の地形の不均一性などにより循環流の発生位置が沿岸方向に変動するので、このような傾向はかなり平滑化されるものと思われる。

中間型の波浪を作用させたケース⑥では、当初の3~6時間に開口部に面した汀線部で侵食された砂が堤体の遮蔽域へと沿岸方向に移動するほかは、全体的に地形の変化が少ない。

5. 洗掘実験

先の漂砂実験のような大規模な地形変化の影響を受けない構造形式特有の局所洗掘量を相対的に明らかにするため、延長50cm、幅25cmの単体模型を漂砂実験の初期地形と同じ移動床の水深20cm地点に設置して波を作用させ、底版の有無、下部スリットの有無、つば・スカートを取付け等が堤体隣接部の洗掘にどのように影響するかを調べた。また、同じスケールの不透過堤、不透過潜堤と最大洗掘深の比較を行った。実験に用いた波は波高12cm、周期2.0sの規則波である。作用時間は2時間で地形変化はほぼ平衡に達していた。

模型の形状、沖側と岸側の洗掘状況、堤体周囲の洗掘深の分布を表-2に示す。一部の結果を除いて洗掘形状はほぼ左右対称である。多くの形式は沖側両端部の洗掘深が大きいが、越波を許さない不透過堤は岸側の方が洗掘深が大きく範囲も広い。沖側・岸側とも中心付近は洗掘されにくく、不透過堤・不透過潜堤ではその傾向が特に強く見られる。不透過堤あるいは不透過潜堤と比べるとスリット堤の最大洗掘深はかなり小さいが、つばやスカートを取付けるとかえって大きな洗掘を招くことが分かる。底版の無い場合も同様である。洗掘深をおさえる方法としては、下部スリットからの噴流を止める意味で海底面近くのスリットをふさぐことが効果的と判断され

る。

6. 結論および今後の課題

一連の実験を通じて、スリットタイプの透過式消波構造物による離岸堤の安定に関しては、施工延長の短い時の局所的な洗掘現象よりも、ある程度堤体長が長くなった時のより大きなスケールでの漂砂量の非平衡性に起因する侵食現象の方が重要な問題となり得ることが確認された。群堤方式で実質的に同一施工延長の離岸堤を建設する場合には、1基の堤長をある程度短くして堤体背後における沿岸方向の波高分布に大きな勾配をもたせない方が、トンボロ形状の発達が小さいため開口部背後の汀線部の後退が小さく平均的な侵食量も少ないので海岸保全上は好ましいと考えられる。しかしながらこの場合には、一方で堤体背後域への砂の補給が少ないので反射波発生に伴う堤体部の侵食を進展させ易く、十分な注意が必要である。簡便な対策としては、あらかじめ堤体背後に砂を投入し、侵食を受け易い所に人為的に砂を供給する等の方法も考えられる。

透過式消波構造物を設置した海域の地形変化シミュレーション手法の開発に関しては、ようやく波浪・流況の検証データを得た段階であるが、波浪場の予測についてはすでに大まかな見通しはついており、流れの場についても堤体部の不透過性を仮定してもさほど実現象とかけ離れないものと思われる。むしろ、漂砂量を評価する際に、下層流れに伴い冲向きに堤体を透過する現象をどう取込むかが課題となろう。

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。ここに記し深甚なる謝意を表する。

参考文献

- 1) 国栖広志・福山博信・宇多高明・村井慎美: 透過水平板付スリット堤の消波特性, 第42回年次学術講演会講演概要集(II), pp.550~551, 1987.
- 2) 福山博信・国栖広志・山崎 剛: 透過水平板付スリット堤の消波特性(その2), 第42回年次学術講演会講演概要集(II), pp.552~553, 1987.
- 3) 国栖広志・福山博信・勝井秀博・小山文男: 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, 1988.
- 4) 中塚健司・小山文男・国栖広志・福山博信: 透過水平板付スリット堤の波浪・流況実験, 第43回年次学術講演会講演概要集(II), 1988.
- 5) 磯部雅彦: 放物型方程式を用いた不規則波の屈折・回折・碎波変形の計算法, 第33回海岸工学講演会論文集, pp.134~138, 1986.
- 6) Sunamura, T. and K. Horikawa: Two-dimensional beach transformation due to waves, Proc. 14th Coastal Eng. Conf., ASCE, pp.920~938, 1974.