

クレセント型没水平板に働く波力特性に関する研究

今井 貫爾*・秋山 義信**・工藤 君明***・統 辰之介****

1. はじめに

著者らは、新しい波浪制御構造物の開発を目的として、波の屈折現象を利用し波向き制御を行う没水平板に関し研究を行ってきた。没水平板とは、海面からある水深の位置に設置した水平板である。前報¹⁾では、特に波を集める（以下集波）機能に着目し集波に適した形状としてクレセント（三日月）型を求め、これに対し実験および数値解析により波浪変形現象の把握を行った。その結果、クレセント型没水平板はその設計条件で良好な集波性能を有することが確認された。

そこで、本研究では、没水平板の現地への適用を考え、実験および数値解析により波圧分布の測定を行い波力特性の把握を行う。合わせて、入射波条件および平面形状以外の没水平板の条件を変化させて周辺海域の波高分布の測定を行い平板の集波性能の評価を行う。

2. 実験方法

2.1 座標系と実験模型

実験並びに数値解析の結果の整理に用いた座標系および記号を図-1に示す。座標原点は没水平板入射側外縁中心の静水面上にとり、各座標軸は没水平板の長さ方向に x 軸、幅方向に y 軸、鉛直方向に z 軸をとった。したがって、波は y 軸負の方向から入射するものとなる。没水平板は0.0mから1.25mの位置に存在している。また、図中の記号の、 T_i , H_i , λ_i はそれぞれ入射波の周期、波高、波長で、 L , B , t は没水平板の長さ、幅、厚さ、 h , d は水深、没水深度である。

クレセント型没水平板の模型形状は、表-1に示す設計条件に対し、前報¹⁾で示した屈折波理論を用いた方法により設計した。模型形状を図-1に示す。代表長さ4.01m、代表幅1.25mである。この形状は、入射側外縁は長軸4.94m、短軸4.34mの楕円形で、透過側外縁は半径3.75mの円で構成される。模型は厚さの異なった2種類（20mm, 100mm）を製作し、模型材質は厚み

20mmは耐水性ベニヤ、厚み100mmは硬質ウレタンを使用した。また、支持には没水深度を変化できる治具を取付けた直径2cmのPC鋼棒支柱19本を用いた。

2.2 波圧測定実験方法

実験には、幅20m、長さ58m、深さ1.5mの平面水槽を使用し、没水平板の固定場所は造波板から27.5mの地点とした。波圧の測定点を図-2に示す。波圧の測定は、超小型半導体式圧力計（定格容量100, 500gf/mm²）を用い表・裏側で各々32点ずつ計64点で行った。

実験条件を表-2に示す。水深および没水深度は固定し、周期・波高を変化させて10種類の実験を行った。表中の常時波浪とは平板の設計条件を中心にした使用状態の波浪で、異常時波浪とは周期の長い波高の高い波で平板の耐波条件近くの波浪を対称としたものである。

2.3 集波性能把握実験方法

使用水槽および模型の固定場所は波圧測定実験と同じ

表-1 設計条件

周期 T_i (sec)	1.2
水深 h (m)	1.0
没水深度 d (m)	0.2
平板代表幅 B_0 (m)	1.25
焦点距離 r (m)	5.0
屈折率 n	0.68

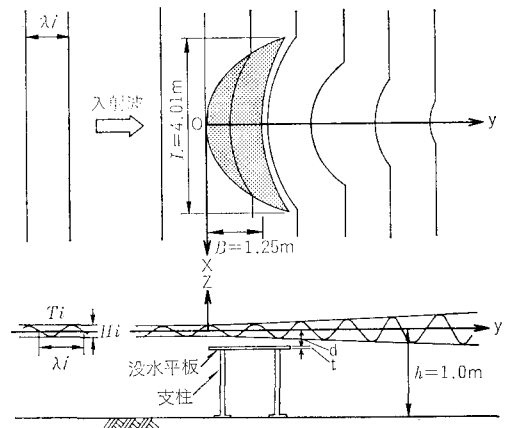


図-1 座標系と記号

* 正会員 Ph. D. 鹿島建設技術研究所
 ** 正会員 工 修 鹿島建設技術研究所
 *** 工 博 海洋科学技術センター
 **** 水 修 海洋科学技術センター

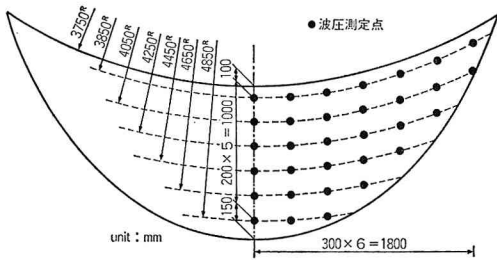


図-2 波圧測定点

表-2 波圧測定実験条件

ケース 番号	入射波条件		没水平板設置条件	
	周期 (秒)	波高 (cm)	没水深度 (m)	水深 (m)
1	1.0	5.0	0.2	1.0
2	1.2			
3	1.4			
4	1.2	3.0		
5		7.0		
6	2.0	20.0		
7	2.5	25.0		
8		35.0		
9	3.0	25.0		
10		35.0		

である。水面変動(波高)の測定点は、平板の設計条件で与えられる集波目標地点 $y=5.0\text{m}$ 地点近傍もしくは平板周りとした。また、測定には移動式観測台車に取付けた容量式波高計を用いた。

実験条件は常時波浪を対称とし周期・波高・波向きを変化させるとともに没水深度および平板の厚さを変化させ計21種類とした。

3. 数値解析方法

波圧および波力の計算には、線形回折波理論を用いた。手法としては、ソース分布法²⁾・ストリップ法を用いた。ソース分布法の計算は没水平板が x 軸に対する対称性を利用し半分でモデル化し、図-3 に示すようにメッシュ分割を行った。要素数254、節点数248の長方形要素による分割である。一方、ストリップ法は平板を8分割するストリップを考え計算を行った。なお、2次元

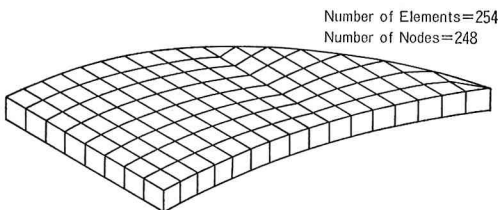


図-3 要素分割図

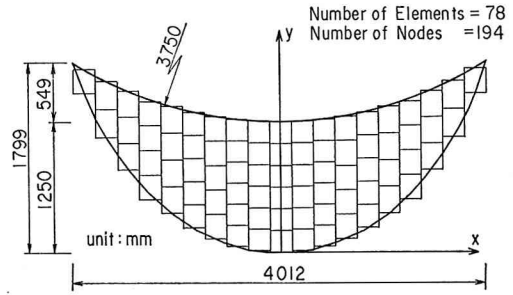


図-4 要素分割図(ダブレット分布法)



写真-1 実験状況(周期 2.5 秒, 波高 35 cm)

の水平板に作用する流体力の評価には2次元ポテンシャル接続法³⁾を用いた。

水面変動の計算には、ダブレット分布法¹⁾を用いた。計算に使用したメッシュ図を図-4 に示す。要素数78、節点数194の長方形要素による分割である。なお、ダブレット分布法は無限水深での解析である。

4. 結果および考察

4.1 波力特性に関する検討

a) 実験状況

写真-1 に異常波浪(周期2.5秒, 波高 35 cm)作用時における実験状況を示す。波は写真右方から入射している。写真より、波が没水平板を1/4位進行した地点と透過側外縁近傍の平板上で2回砕波している。この砕波は、平板上で入射波の浅水変形に伴う波高増幅および平板外縁から生じる戻り流れと進行してきた波が衝突することにより生じるものである。したがって、その砕波形態も進行波で見られる巻き波砕波等にはならず重複波の砕波で見られるような跳動的な砕波となる。なお、砕波の一つの要因となった戻り流れとは、平板の表と裏で波の位相速度が異なることにより平板透過側外縁で位相が不連続となるために生じるものである⁴⁾。

b) 波圧時系列変動

y 軸上の表・裏側の波圧測定点における時系列変動の代表例を図-5 に示す。縦軸は入射波高で、無次元化した波圧で点線を中心に ± 1.0 で、横軸は時間で、入射波

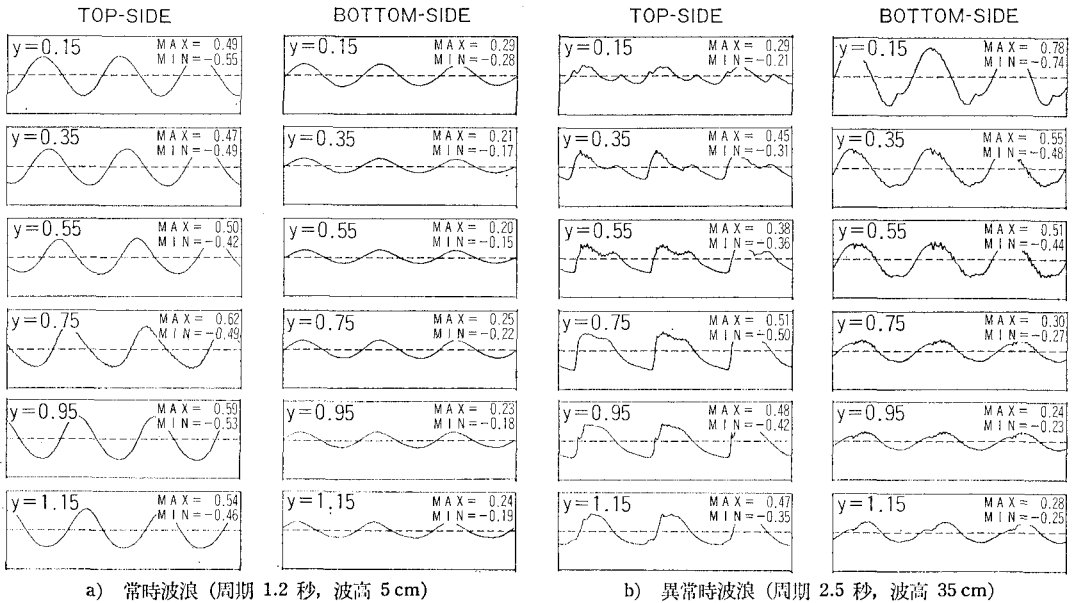


図-5 波圧時系列

周期の3倍の波形をプロットしたものである。

図より常時波浪においては、すべての位置で正弦的な波形になっている。一方、異常時波浪の表側の結果より、碎波に伴い平板中心以降で尖鋭化した波形が見られるが、波圧最大値に関してはほかの地点におけるものに比べ大差がない。これは、前節でも示したように、碎波の形態が跳動的になるためと考えられる。

c) 波圧分布

y 軸上の波圧最大値の線分布を図-6 に示す。上が常時波浪、下が異常時波浪の結果である。縦軸は無次元波圧、横軸は y 軸上の距離である。

常時波浪の表側の結果より周期変化に対し差が大きく、どの周期においても $y=0.75\text{m}$ 地点でピークを持つことがわかる。また、裏側に関してはフルードクリロフ圧力 (平板が無いと仮定し回折効果を無視し微小振幅波理論より得られる圧力) と良好な一致を示した。

次に、異常時波浪の場合、表側では、平板で激しい碎波が生じるにもかかわらず周期の変化及び位置の変化にともなう変動が小さい。また、その大きさもフルードクリロフ圧力に近くなる。一方、裏側では、平板入射側外縁で大きな値を示し、波の進行に伴い一様に漸減していく傾向が見られる。

波圧の最大値および波圧最大値発生時の位相の平面分布の代表例を図-7 に示す。図中、没水平板の右側半面が表側、左側半面が裏側の結果である。また、上側の図が波圧最大値、下側が位相の等高線図を示したもので、位相に関しては1周期を1としてプロットを行った。

常時波浪の表側では中心線 (y 軸) 付近では乱れが少ない分布形となるが、中心線よりも離れた領域では乱れ

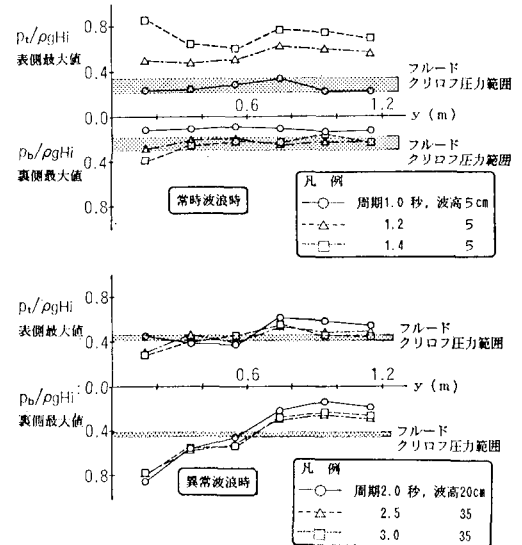


図-6 没水平板中心線上の波圧最大値分布

が多い複雑な分布形となっている。これは回折効果・戻り流れ現象等の影響によると考えられる。一方、位相の分布に関しては、表側では平板上での水深 (没水深度) に伴った波速で進行している。また、裏側では同時位相で波圧最大値が生じる。

異常時波浪の場合、常時波浪の場合に比し分布形の変化が少いことがわかる。また、裏側の入射側外縁傍で 0.9 という大きな値を示すことがわかる。

d) 波力特性

図-8 に波圧を積分することにより得られる合力としての鉛直波力について実験結果と数値解析結果について示す。横軸は入射波周期、縦軸は無次元鉛直波力である。

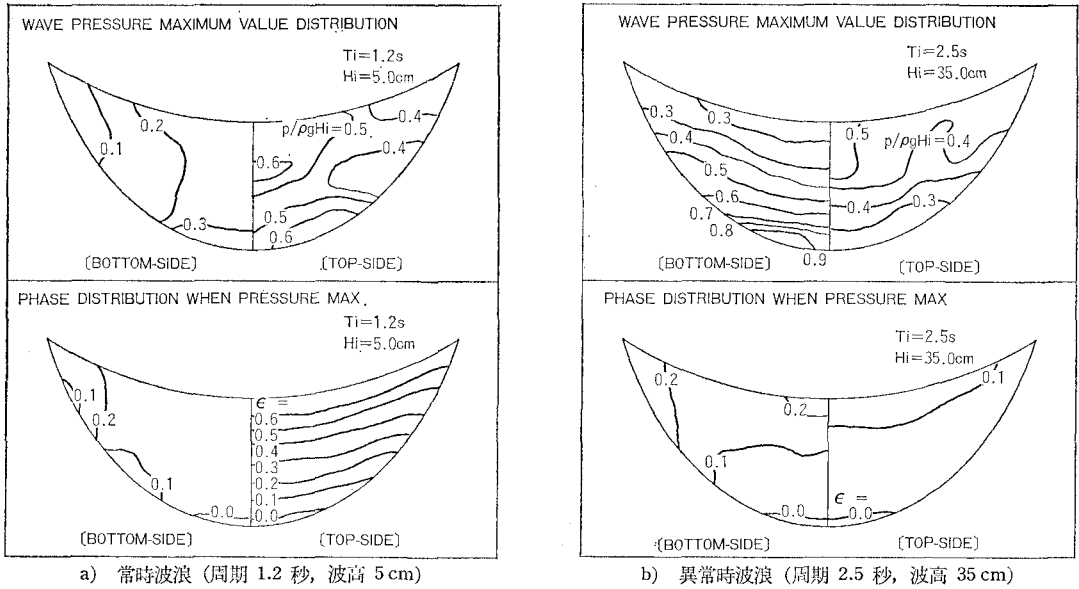


図-7 波圧最大値分布および最大値発生時位相分布

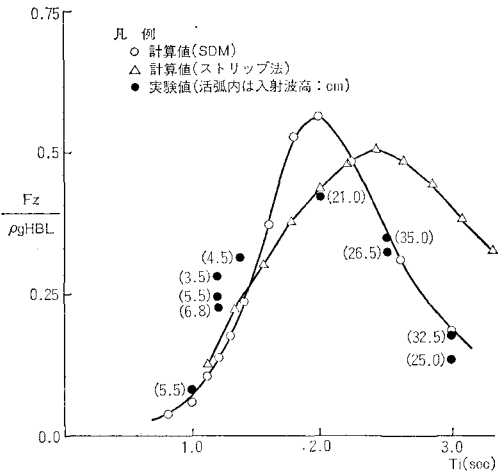


図-8 鉛直波力

図より、実験値と計算値は周期 2.0 秒のピーク付近で若干の差が生じるものの常時波浪・異常時波浪ともに定性的には比較的良好な一致が得られた。したがって、没水平板に働く波力は波浪変形現象が碎波等を生じる非線形現象になるが、線形回折波理論で厳密ではないが定性的には評価可能であると考えられる。

4.2 集波性能に関する検討

現地では、波浪の周期・波高・波向きが時々刻々変化する。また、平均水面も潮位変動により変化し没水深度が変化する。そこで、パラメータとして周期・波高・波向き・没水深度の 4 つを考え、平板設計条件に対しパラメーターの一つを変化させ、各種水理量の変化に対する集波性能の変化について検討を行った。合わせて平板厚さによる違いについても検討を行った。

なお、以下の検討では、没水平板の設計条件の一つで

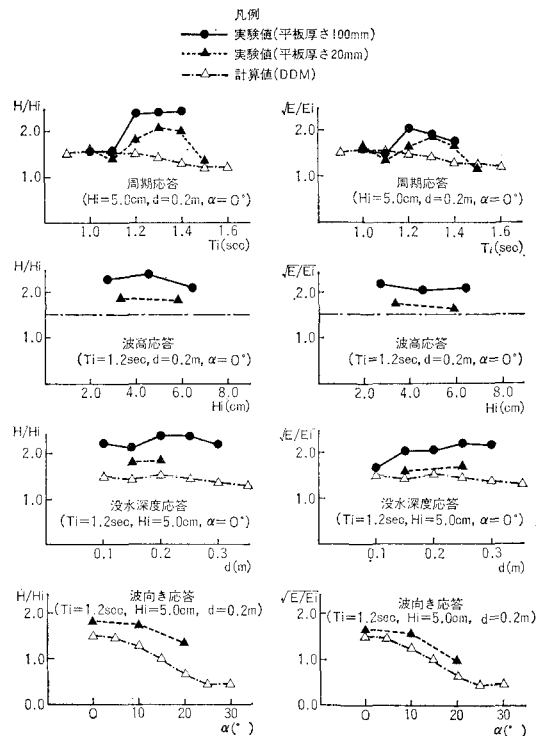


図-10 波高増幅率

図-11 エネルギー増幅率

ある焦点距離 5m に着目し、4.8, 5.0, 5.2m の 3 地点の波高の平均値を波高増幅率の代表値として定義し検討を行う。また、同様の方法を用い、エネルギー増幅率についても検討を行う。図-10に波高増幅率、図-11にエネルギー増幅率に関し実験および数値解析の結果について示す。横軸は各種水理量で、縦軸は無次元化した波高およびエネルギーの代表値である。

a) 平板厚さに対する影響

図より、平板厚さの違いによる変化に対し、波高・エネルギー増幅率とも大差がない。むしろ、没水平板からの反射の増大の影響により集波効率の低減が予想された板厚 100 mm の方が全般的に良好な結果を示している。これは、平板上で生じる戻り流れ現象を平板厚さが厚い方が受けにくいためこのようになったと考えられる。

b) 周期変化に対する影響

図より、周期応答は、波高応答・没水深度応答に比し敏感であり、平板設計条件である周期 1.2 秒付近でピークを持つ。また、周期 1.2 秒以下に関しては十分に波向きが変わらず低減傾向を示し、周期 1.2 秒以上に関しては、平板からの反射が大きくなり、平板を通過するエネルギーが少なくなったために低減傾向を示す。

実験と数値解析の結果を比較すると波高増幅率では実験値の方が大きな値を示すが、エネルギー増幅率では比較的良好的な一致を示す。これは、実験では周期が長くなると没水平板を通過した波が波峰分裂を生じるために見かけの波高増幅を示すのに対し、エネルギーではその影響が入りにくいために線形の数値解析の結果と一致したものと考えられる。

c) 波高変化に対する影響

波高応答に関しては、波高 7 cm で弱い碎波が生じるがほぼ同一な効果が得られる。

d) 没水深度変化に対する影響

没水深度応答に関しては、深度が浅い方が平板からの反射の増大のために増幅率が低くなる傾向が見られた。一方、深度を深くしていくと入射波の波向きを変化させる能力が低下するために増幅率も低下すると考えられたが、今回の実験範囲ではその傾向は見られなかった。

e) 波向き変化に対する影響

図より、波向き変化に対する影響は周期変化に対する

影響と同等にある程度敏感である。

つづいて、図-12に波向き0, 20°の時の没水平板周辺の波高分布の状況について示す。図より波向き0°の場合に比較して、集波領域での波高増幅率の若干の低下が見られるが、顕著な差異は見られなかった。また、集波領域の発生位置に関しては入射角度20°の約半分10°の角度の領域に生じ、波向き変化の影響が少なかった。これは、クレセント形状が円形・楕円形で構成される形状であるために、ある程度の角度変化に対しは波入射方向から見た投影形状の差異が少ないためと考えられる。

5. おわりに

本研究では、没水平板に働く波力特性および各種水理量の変化にともなう集波性能の変化に関する把握を行った。その結果以下に示す結論を得た。

a) 常時波浪において、平板の表側に働く波圧の最大値は、回折効果の為に入射波周期が変化する影響を顕著に受ける。また、戻り流れの影響を受け平板中央部でピークを有する分布形を示す。

b) 異常時波浪において、没水平板に働く波圧の最大値は入射波長に比し平板代表幅が小さいために回折効果の影響をほとんど受けず、入射波周期の変化に対し変動しない。また、現象的には平板上で顕著な碎波を示し、波圧の時系列波形に対しては影響を及すが、その大きさに対しては余り影響を及ぼさない。

c) 没水平板に働く波力は波浪変形現象が碎波に代表される非線形現象になるが、線形回折波理論で定性的に評価することが可能であることを確認した。

d) 平板厚さの違いによる集波性能の変化は余り顕著でないことが確認された。

e) 各種水理量の変化に伴う集波性能の変化は入射波周期および波向きの変化に対してはある程度敏感に反応する傾向が見られたが波高・没水深度変化に対しては余り変化を生じず実用上問題がないことが確認された。

最後に、本研究は海洋科学技術センターの「海域制御技術の研究開発(青い珊瑚礁計画)」として実施したことを併記し、関係各位に感謝の意を表わします。

参考文献

- 1) 今井貫爾・秋山義信・池谷 毅・工藤君明・統辰之介: クレセント型没水平板の集波効果に関する研究, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 487~491, 1987.
- 2) Garriron, C. J.: Hydrodynamic loading of offshore structures. Three-dimensional source distribution methods, Chapter 3, Numerical Method in Offshore Engineering, John Wiley & Sons, pp. 87~140, 1978.
- 3) 井島武士・田淵幹修・湯村やす: 有限水深の波による矩形断面物体の運動と波の変形, 土木学会論文集, 第202号, pp. 33~48, 1972.
- 4) 高木幹夫・川崎孝生: 没水平板の消波効果に関する研究, 第8回海洋工学シンポジウム, pp. 259~266, 1988.

