(昭和 62 年 11 月 日本造船学会秋季講演会において講演)

没水平板の集波効果に関する研究 (第 2 報)

— 三日月型没水平板の波浪変形現象 —

正員 工 藤 君 明* 續 辰 之 介*
 今 井 貫 爾** 正員 秋 山 義 信**
 池 谷 毅**

Study on Wave Focusing by a Horizontally Submerged Plate (2nd Report)

by Kimiaki Kudo, *Member* Tatsunosuke Tsuzuku
 Kanji Imai Yoshinobu Akiyama, *Member*
 Tsuyoshi Ikeya

Summary

A new type of horizontal submerged thin plate is introduced to focus wave energy in a certain place behind it. It is formed with a circular as well as elliptical curves not to cause a reflection of waves at the extreme edges of plate. It is termed as a crescent plate.

Some laboratory experiments are performed to identify the characteristics of the plate by applying a regular wave trains. Following major observation will be obtained.

(1) A crescent plate designed by the wave refraction theory can concentrate wave energy at a focal zone behind it in most cases, without wave breaking phenomenon.

(2) Maximum wave amplification coefficient 2.7 was attained in present laboratory test.

(3) In certain cases, significant wave breaking occurs at the rear edge of plate. This phenomenon is frequently induced when the incident wave height becomes relatively high.

(4) Detailed numerical results by the Doublet Distribution Method agrees well with the experimental ones when the incident wave period is not large.

In any event, it is shown that a shape of crescent plate introduced in the present investigation can be easily designed by a simple design method based on the wave refraction theory and proved to be useful for efficiently concentrating wave energy with the increase of wave height.

1 緒 言

近年、沿岸海域を総合的に利用するために、新型の波浪制御構造物について多数の研究がなされるようになってきた¹⁾。従来より用いられてきた波浪制御構造物の多くは各種防波堤に代表されるように、壁状の構造物で波をさえぎり波を侵入させないという形式のものであった。

これに対し、ノルウェーでは、波の屈折現象を利用することにより波向きを変化させて波浪制御を行う“没水平板（水中に水平に設置された薄い板）”という新型構造物を考えている²⁾。この没水平板は見かけの水深変化に伴う波速の変化を利用し、平板で人工の浅瀬を作ること

により平板上と平板外で波の位相差を生じさせ、波向きを変化させて波浪を制御するものである。また、従来より波浪制御に用いられてきた防波堤が、沿岸海域を守るという防災的見地が重視された受動的（治水的）なものであるのに対し、没水平板は沿岸海域に來襲する波浪を制御し、しかもそれを有効利用するという能動的（利水的）な機能を有するものである。

筆者らも、没水平板による波向き制御、特に波を集める機能に着目し基礎的研究を実施してきた。前報では、凸レンズ型没水平板を対象とし、ダブルット分布法による数値解析および水理実験を実施することにより、波浪変形現象の基礎的知見の把握を行った。その結果、没水平板を設置することにより波向き制御が可能であることが確認された。また、凸レンズ型没水平板の集波現象は、平板から離れた岸側領域ではなく、平板上で生じる

* 海洋科学技術センター

** 鹿島建設(株)技術研究所

ことが確認された³⁾。

そこで、本報では、没水平板から岸側領域任意地点での集波並びに集波効果の増大を目的として、没水平板の平面形状を屈折理論（スネルの法則）により設計する方法について示す。つづいて、上記設計法により得られた三日月（クレセント）形状を持つ没水平板に対し、実験およびダブルレット分布法による数値計算を行い、上記設計法の妥当性について検討する。また、波浪条件もしくは没水平板の設置条件（没水深度）の違いによる集波効果の変化についても考察を行う。

2 没水平板の設計

没水平板は、その平面形状を変化させることにより任意の方向に波向きを変化させることができるものである。前報では、凸レンズ型没水平板により波向きを変化させ平板上で波を集めることができた。そこで、本章ではある条件の波を没水平板から離れた岸側領域で集めるのに適した平板形状を解析的に求める方法について示す。

没水平板の形状設計に当っては、前報で示した回折波理論に基づく数値解析もしくは実験により、種々の形状に対し現象解析を行い、その中から最適なものを選び出す方法が考えられる。しかし、この方法には試行錯誤が必要であり、合理的な方法であるとはいえない。

一方、屈折理論は上記方法に比べ簡単であるために、没水平板の形状の違いによる波向き変化を解析的に表現できる。このため、ある目標とした波浪変形現象が生じようような没水平板形状の決定、すなわち形状設計において有効に利用できると考えられる。屈折理論は、回折波理論と比べると平板による回折・反射の効果を無視しているため、没水平板による波浪変形現象をすべて表現できるわけではないが、没水平板による波向き制御は見かけの水深変化に伴う波速の変化を利用するものであるため、基本的な制御効果は表現できると考えられる。

屈折理論によれば没水平板を通過する波向き線は、没水平板に波が入る沖側および没水平板から波が出る岸側の外縁で2回曲げられる。前報で示した凸レンズ型没水平板の数値解析並びに実験の結果によれば、没水平板から波が出る岸側外縁で生じる顕著な反射のために、平板上で集波途中の進行波と岸側外縁からの反射波が衝突し、重複波を生じ波高が増大することが確認された。また、一般的にも、没水平板から波が出る時に波向きを曲げることは、没水平板に波が入る時に波を曲げることに比べ反射が大きく、透過率が小さくなる傾向があることが指摘されている⁴⁾。そこで、平板による反射の影響を軽減させ、集波効率を増大させるために、波向きは没水平板に波が入る時、すなわち沖側外縁のみで曲げるもの

Fig. 1 Shape determination by the wave refraction theory

とし、反射の大きい岸側外縁では曲げないものと仮定し解析を行う。

Fig. 1 に示すように没水平板を通過した波向き線が点 F で交差して焦線（caustic）を形成するような没水平板形状を求める。入射波の波向き線は y 軸負の方向から入ってくるものとする。

没水平板の岸側外縁形状は波向きを曲げないという仮定より、通過する波向き線に対し垂直に交わる必要がある。また、波が同位相で点 F に到達するために、平板を出てから点 F までの到達時間が等しいという条件を満足する必要がある。したがって、没水平板の岸側外縁形状が満足すべき条件式は以下になる。

$$\angle FB'C' = \frac{\pi}{2}, \quad \frac{B'F}{c} = \frac{r-B_0}{c} = \text{Const.} \quad (1)$$

ここに、 r は焦点距離、 B_0 は平板基準幅である。上式が満足すべき軌跡は x, y 座標で記述し整理すると、次式に示す半径 $(r-B_0)$ 、中心 $(0, r)$ の円の式となる。

$$x^2 + (y-r)^2 = (r-B_0)^2 \quad (2)$$

一方、没水平板の岸側外縁形状は同位相で波が点 F に到達する条件、すなわち基準線 ($x=0$) から点 F までの波の到達時間が等しいという、次式に示す条件を満足する必要がある。

$$\frac{O'A'}{c_0} + \frac{A'B'}{c} + \frac{B'F}{c_0} = \frac{B_0}{c} + \frac{r-B_0}{c_0} = \text{Const.} \quad (3)$$

ここに、 c は平板上での波速、 c_0 は平板外での波速である。ここで、岸側外縁では波向きが変わらず、位相差も生じないので、没水平板に波が入った後、焦点 F に到達するまでの同一の波速 c で波が進行すると仮定すると、(3) 式は簡単化され、次式となる。

$$\frac{O'A'}{c_0} + \frac{A'F}{c} = \frac{r}{c} = \text{Const.} \quad (4)$$

上式を満足すべき軌跡を、 x, y 座標で記述すると、点 F

を焦点の一つとして持つ次式に示す楕円となる。

$$\frac{x^2}{\{r\sqrt{(c_0-c)/(c_0+c)}\}^2} + \frac{\{y-rc_0/(c_0+c)\}^2}{\{rc_0/(c_0+c)\}^2} = 1 \quad (5)$$

したがって、設計条件として集めたい波の入射波周期、水深、没水深度、没水平板基準幅の四つの条件を与えることにより、集波に適した没水平板形状は（2）式と（5）式で決定でき、その形状は沖側外縁は楕円形、岸側外縁は円形で構成される三日月形状となる。

3 実験方法

3.1 実験模型と座標系

模型の形状は、Table 1 に示す設計条件に対し前章に示す方法を用い決定した。設計に必要な4条件のうち、平板代表幅 B_0 、没水深度 d は有効に波向き制御ができ、しかも反射をあまり生じさせないように選ぶべきである。そこで、今回は簡単のために前報の実験結果より、 B_0 は入射波波長の約半分の値 1.25m を、 d は 0.2 m を設計値として採用した。

模型形状を Fig. 2 に示す。この形状は沖側外縁は長軸 6.94m、短軸 4.34m の楕円形で、岸側外縁は半径 3.75m の円で構成されるものである。模型は 15mm の厚みを持つ耐水性ベニヤを組み合わせることにより製作を行った。また、模型の支持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。

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 Fig. 3 に示す。座標原点は没水平板沖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

Table 1 Design conditions for the crescent shaped submerged plate

Wave period	T_i (sec)	1.2
Wave length	λ_i (m)	2.23
Submerged water depth	d (m)	0.2
Water depth	h (m)	1.0
Width of Submerged plate	B_0 (m)	1.25
Focal length	r (m)	5.0

Fig. 2 Example of a crescent shaped submerged plate and a mesh layout for computation

Fig. 3 Coordinate system and notations

Table 2 Experimental and computational conditions

Case	Submerged water depth d (m)	Wave period T_i (sec)	Wave height H_i (m)	Incident angle λ (degree)	B/λ_i
1	0.2	1.0	5.0	0	0.801
2	0.2	1.2	5.0	0	0.561
3	0.2	1.4	5.0	0	0.421
4	0.2	1.2	3.0	0	0.561
5	0.2	1.2	7.0	0	0.561
6	0.2	1.2	5.0	18.0	0.561
7	0.2	1.2	5.0	1.0	0.561
8	0.2	1.2	5.0	2.0	0.561
9	0.15	1.2	5.0	0	0.561

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 軸の負の方向から入射するものとなる。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。

3.2 実験条件および方法

実験条件を Table 2 に示す。水深は 1.0m、入射波条件並びに没水深度は平板形状の設計条件を中心に变化させ、9 種類の実験を行った。Case 1~3 は波高、波向き、没水深度を固定し、入射波周期を 1.0、1.2、1.4 秒と变化させて没水平板の集波効果の変化の把握を行ったものである。また、Case 4, 5 は入射波波高、Case 6~8 は波向き、Case 9 は没水深度を変化させて、集波効果の変化の把握を行ったものである。

実験には、幅 20m、長さ 58m、深さ 1.5m の大型平面水槽（鹿島建設技術研究所）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。計測は、没水平板中心線（ y 軸）上もしくは平板周りの波高分布の測定を行った。波高の測定には容量式波高計を用い、移動式観測台車に取付け広域的に測定を行った。なお、波高分布の測定間隔は平板中心線上の波高分布は 0.2m、平板周りの波高分布は x 軸方向 0.2m、 y 軸方向 0.25m とした。

4 数値解析方法

没水平板は長さ L 、幅 B の水平方向のスケールに比べ厚さ t の鉛直方向のスケールが小さい構造物である。したがって、従来の3次元波浪変形現象の解析法（有限要素法、ソース分布法、ポテンシャル接続法など）では、極めて扁平な要素を用いるか多数のメッシュ分割を行わなくてはならず、精度・計算時間に関し実用的なものとなる。そこで、平板厚さが無視できるほど薄いものと仮定し、ダブルット分布法（ダブルット型核関数を用いた線形回折波理論に基づく境界要素法）により解析を行った。なお、本解析の詳細並びに精度の検討に関しては前報によるものとする。計算に使用したメッシュ図を Fig. 2 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。

5 結果および考察

5.1 実験状況

Photo. 1 に実験における集波状況の一例を示す。波は、左方より入射している。平板により曲げられた波が円弧状の波峰線を持つ波として平板から出て、平板岸側地点で集波することが確認された。

5.2 波高分布

5.2.1 没水平板中心線（ y 軸）上の波高分布

Fig. 4 に没水平板の集波効果を把握するために行った y 軸上の波高分布の実験値と計算値を示す。縦軸は入射波波高で無次元化した波高（波高増幅率）であり、横軸は y 座標である。没水平板は 0.0 m から 1.25 m の位置に存在している。入射波条件は Case 1~3（周期 1.0, 1.2, 1.4 秒）である。

図より、波は没水平板により曲げられ、いずれの周期に対しても平板岸側で集波し、波高の増幅が生じた。また、最大の波高増幅率は、設計条件である周期 1.2 秒の時に生じ、約 2.7 倍となった。

実験結果と計算結果を比較すると、周期が 1.0 秒の場

Photo.1 Photograph that demonstrates a wave focusing phenomenon

Fig. 4 Wave height distribution along the center line of a submerged plate ($T = 1.0, 1.2, 1.4$ sec)

合は良好な一致を示した。一方、周期が 1.2, 1.4 秒では平板沖側では一致をするが、平板岸側では一致が不十分であった。これは、実験では後節で示すように平板上での浅水変形に伴う水面波形の非線形（尖鋭）化、並びに平板通過直後に生じる波の分裂の影響が増大するのに対し、数値解析では線形回折波理論を仮定しているために、上記現象を考慮できず一致が得られなかったためと考えられる。

5.2.2 没水平板周りの波高分布

Fig. 5 に、波高の平面分布について実験値と計算値を示す。入射波条件は没水平板の設計条件で、Case 2（周期 1.2 秒）である。実験値は、没水平板岸側では y 軸近傍水域で集波域が生じ、 y 軸より離れた水域で静穏域が生じた。また、平板沖側領域では、平板からの反射波により重複波が生じ、反射域が生じた。

Fig. 5 Wave height distribution around a submerged plate ($T = 1.2$ sec, $\alpha = 0.0^\circ$)

Fig. 6 Diffracted wave height distribution around a submerged plate
($T=1.2\text{sec}$, $\alpha=0.0^\circ$)

一方、計算値も実験により得られたパターンと同様な結果となり、両者の定性的な一致が得られた。しかし、集波域における最大波高増幅率の大きさおよび発生位置に関しては、(1)で示した理由により実験結果との定量的な一致は得られなかった。

Fig. 6 に、数値解析により得られた diffracted wave の波高平面分布について示す。図より平板上で比較の高い値が生じており、平板から波が出る際に沖側に向けて反射が生じていることが確認された。

5.3 反射の影響

今回、屈折理論により設計を行った三日月型没水平板は反射による集波効果への悪影響を除去するために、沖側外縁のみで波向きを曲げると仮定し解析を行った。そこで、上記仮定の妥当性を確認するために平板を 180° 回転させて、入射波を作用させ、実験並びに数値解析により検討を行った。これは、反射の影響を考慮していない屈折理論によれば、逆向きからの入射でも正向きと同等の状況が得られるのに対し、実際には逆向きにすることによりどのように反射が影響し、正向きと状況を異にするかを確認するために行ったものである。

Fig. 7 に入射波が逆向きの場合の、Case 6 における波高分布について実験値と計算値を示す。また、Fig. 8 に diffracted wave の波高分布の計算値について示す。入射波条件は Case 6 (入射角 180°) である。

Fig. 7 Wave height distribution around a submerged plate
—Investigation on the wave refraction effect at the edge of plate—
($T=1.2\text{sec}$, $\alpha=180.0^\circ$)

Fig. 8 Diffracted wave height distribution around a submerged plate
—Investigation on the wave refraction effect at the edge of plate—
($T=1.2\text{sec}$, $\alpha=180.0^\circ$)

Fig. 9 Wave deformation along the center line of a submerged plate
($T=1.2\text{sec}$)

正向きの状況を示す Fig. 5, Fig. 6 に比べ、逆向きの場合は平板岸側外縁からの反射が増大し、平板上で顕著な重複波が生じ複雑な様相を呈した。また、最大の波高増幅率の発生位置は、逆向きの場合には反射の影響のために前報で示した凸レンズ型没水平板の結果と同様に平板上であった。以上より、今回の三日月型没水平板の設計仮定は妥当であることが確認された。

5.4 波峰分裂の影響

水深が急激に変化する浅瀬などを通過すると、波形に 2 次波峰が生じ波が分裂することがこれまでの研究により知られている⁵⁾。今回の実験においても、没水平板の存在によって同様の現象が生じることが確認された。Case 2 (周期 1.2 秒) における y 軸上の時系列波形の場所的变化を Fig. 9 に示す。図より、平板入射前に正弦的であった波形が平板上で浅水変形し波峰が尖り、谷部で平坦な波形に変化する。また、平板通過直後は波形が分裂し二次波峰を生じるが、その二次波峰は波の進行とともに減衰する。

次に、没水平板の集波効果に対する波峰分裂の影響を検討するために、実験で得られた時系列水面波形 η を次式に示す Fourier 級数に展開する。

$$\begin{aligned}\eta(x, y, t) &= \sum_{n=1}^N \left\{ \alpha_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T_i}\right) + \beta_n \sin\left(\frac{2\pi n t}{T_i}\right) \right\} \\ &= \sum_{n=1}^N a_n \cos\left(\frac{2\pi n t}{T_i} - \theta_n\right) \quad (6)\end{aligned}$$

Fig.10 Fourier component of waves along the center line of a submerged plate ($T=1.0, 1.2, 1.4$ sec)

ここに、 a_n, θ_n は T_i/n を周期に待つ n 次成分波の振幅と位相であり、次式で示される。

$$a_n = \sqrt{\alpha_n^2 + \beta_n^2} \quad (7)$$

$$\theta_n = \tan^{-1}(\beta_n/\alpha_n) \quad (8)$$

各々の実験の入射波に対する 1~3 次成分波の振幅 a_n の場所的変動を示したのが Fig.10 である。入射波条件は Case 1~3 (周期 1.0, 1.2, 1.4 秒) である。縦軸は a_n を入射波振幅で除したもので増幅率であり、横軸は y 座標である。なお、4 次以上の高周波数の成分に関してはほとんど存在しなかった。

図より、周期 1.0 秒の場合は 1 次成分波のみが卓越しているが、周期 1.2, 1.4 秒の場合には 1 次成分波では集波はあまり起こらず、2 次成分波の波高の集波効果への寄与が高いことが確認された。したがって、5.2 で示した周期 1.2, 1.4 秒の波高分布は、没水平板より岸側では各成分波相互の位相関係により、波高が場所的に変化しているものと考えられる。また、周期 1.2, 1.4 秒の場合に平板上 ($y=0.0 \sim 1.25$ m) で 2 次成分が直線的に増大し、浅水変形に伴う波形と非線形化が生じていることが確認された。また、実験値と計算値を比較すると、1 次成分波の結果と計算値は良好な一致を示しており、5.2 で示した通り波高レベルでの両者の一致が得られなかった理由は、波峰分裂による影響によるものであることが確認された。

5.4 エネルギーフラックス分布

各測点におけるエネルギーフラックス (波によって輸送される単位幅当りのエネルギーの 1 周期にわたる平

均) は、波形の分裂した影響を考慮するために次式で求める。

$$W = \sum_{n=1}^N \frac{1}{2} \rho g a_n^2 C_{G_n} \quad (9)$$

ここに、 a_n は前節の Fourier 級数展開により得られた n 次成分波の振幅、 ρ は水の単位体積重量、 g は重力加速度、 C_{G_n} は n 次成分波における群速度である。(9) 式を用いるためには、 n 次成分波と波速の間に線形で独立な関係がある必要があり、また、 C_{G_n} を評価する必要がある。そこで、Case 3 (周期 1.4 秒) の場合について、1, 2 次成分波の波峰の走時曲線を実験値より求め、 n 次周波数と波速の関係を調べる。なお、走時曲線は、(8) 式で示される位相を基に計算したものである。

結果を Fig.11 に示す。縦軸は、 $y=0.0$ m の地点を 1 次成分波が通過した時の時間を基準にした経過時間を示し、横軸は y 座標を示す。図より、1 次成分波、2 次成分波とも直線となり、両者はそれぞれ独立であることが分かる。また、1 次成分波、2 次成分波の波速 (図における勾配の逆数) もそれぞれ 2.10, 1.12 m/sec となり、これは微小振幅波理論より求められる波速 2.12, 1.09 m/sec とほぼ同じである。したがって、 C_{G_n} は微小振幅波理論により次式で求めるものとする。

$$C_{G_n} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{4\pi h}{\lambda_n} \frac{1}{\sinh 4\pi h/\lambda_n} \right) \frac{\lambda_n}{(T_i/n)} \quad (10)$$

ここに、 λ_n は n 次成分波の波長で次式の分散関係式により求まるものである。

$$\lambda_n = \frac{g(T_i/n)^2 \tanh \frac{2\pi h}{\lambda_n}}{2\pi} \quad (11)$$

Fig.12 に (9) 式により得られるエネルギーフラックス分布の場所的変動を示す。横軸は y 軸、縦軸は入射波のエネルギーフラックスにより無次元化したエネルギーフラックスの増幅率の平方根である。入射波条件は Case 1~3 (周期 1.0, 1.2, 1.4 秒) である。なお、縦

Fig.11 Travel time curves for Fourier component of waves ($T=1.4$ sec)

Fig. 12 Energy flux distribution along the center line of a submerged plate ($T=1.0, 1.2, 1.4$ sec)

軸で平方根をとったのは、Fig. 4 に示す波高増幅率の結果と比較するためである。

図より、周期 1.0 秒の時は 1 次成分が卓越するため波高増幅率とはほぼ同じ形となるが、周期 1.2, 1.4 秒の時には波高増幅率よりも小さめとなる。これは、波峰分裂に伴いエネルギーが 2 次周波数に分散するために、このようになったものである。また、計算値と実験値を比較すると良好な一致が得られた。なお、最大のエネルギー増幅率は周期 1.2 秒の時で 3.2 倍となった。

5.6 集波効果に関する検討

本節では、三日月型没水平板の現地での適用を考え、入射波条件および設置条件の違いによる集波効果の変化の把握を行った結果について示す。想定される実構造物では波浪の周期、波高、波向きが時々刻々変化する。また、平均水面も潮位により変化し没水平板の設置条件である没水深度が変化する。そこで、変化パラメータを周期、波高、波向き、没水深度の四つと考え、三日月型没水平板の設計条件に対しパラメータの一つを変えることにより、それぞれの実験を行った。

5.6.1 周期変化に対する影響

入射波周期の変化に対する波高分布の変化は Fig. 4 に示したので、ここでは没水平板沖側、岸側領域それぞれの最大波高増幅率の周期変化を Fig. 13 に示す。横軸は入射波周期であり、縦軸はそれぞれの領域内での最大波高増幅率である。

図より、岸側領域では入射波周期が設計条件より小さい時には顕著な集波を示さないが、設計条件より大きい周期で顕著な集波を生じることが確認された。また、2

Fig. 13 Wave amplification factor against the change of incident wave period

倍以上の波高増幅率が得られる周期範囲は 1.2~1.4 秒であり、周期に対する依存性は比較的低いものとなった。しかし、この 2 倍以上の波高増幅率を示す集波は、純粋な意味での波の屈折現象によりのみ得られたものではなく、波形の非線形化および分裂現象の影響も波高の増大にかかわり、見かけ上このような高い値となったものである。

一方、沖側領域では入射波周期の増大に伴い反射が大きくなり、最大波高増幅率も増大する傾向を示した。

5.6.2 波高変化に対する影響

入射波波高の変化に対する没水平板中心線上の波高分布の変化を Fig. 14 に示す。入射波条件は、周期を 1.2 秒に固定し、波高を変化させた Case 2, 4, 5 である。図より、波高 3, 5 cm の時は変化が少ないが、波高 7 cm の時に大きな変化が生じた。これは、波高 7 cm では平板上で碎波が生じ、波が流れとなり平板岸側で集波が生じなかったためである。

5.6.3 波向き変化に対する影響

入射波波向きの変化に対する没水平板周りの波高分布の実験並びに計算結果を Fig. 15 に示す。入射波条件は

Fig. 14 Wave height distribution along the center line of a submerged plate for various incident wave height ($T=1.2$ sec, $H=3.0, 5.0, 7.0$ cm)

Fig. 15 Wave height distribution around a submerged plate for various incident wave angle
($T=1.2\text{sec}$, $\alpha=20.0^\circ$)

波向き 20° の Case 8 である。

図より、波向き 0° の場合と比較して、集波領域での波高増幅率は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° の約半分の 10° の角度の領域に生じ、入射角度の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、角度変化に対する形状の差異が少ないために、このようになったものであると考えられる。

5.6.4 没水深度の変化に対する影響

没水深度を 0.2, 0.15m に変化させて行った Case 2, 9 の、没水平板中心線上の波高分布の結果を Fig. 16 に示す。没水深度 0.15m の結果の方が 0.2m に比べ集波

Fig. 16 Wave height distribution along the center line of a submerged plate for various submerged depth
($T=1.2\text{sec}$, $d=0.2, 0.15\text{cm}$)

効果が低下した。これは、波峰分裂の影響と、 $d=0.15\text{m}$ の時に局所的に穏やかではあるが、砕波が生じたためにこのようになったものである。なお、没水深度の変化に対する影響は、本来、入射波高との相対関係により議論すべきであるが、今回は実験ケースが 2 種類と少ないため、これ以上の考察は行わなかった。

6 結 言

没水平板による波浪制御法の開発を行うための研究の統報として、集波に適した没水平板形状の設計法を示すとともに、実験並びに数値計算を実施し、その集波効果の把握を行った。また、没水平板の現地での適用性の検討の第一段階として入射波条件および設置条件の変化に対する波浪変形現象の把握を行った。その結果以下に示す結論を得た。

(1) 集波に適した没水平板として、屈折理論により設計された三日月型没水平板は、波向きを変化させ平板の外で波を集めることが可能であることが確認された。

(2) 今回対象とした三日月型没水平板は、設計条件において波高増幅率で 2.7 倍、エネルギーフラックス増幅率で 3.2 倍の集波効果を得ることができる。

(3) 三日月型没水平板の岸側外縁から生じる波の反射並びに平板通過直後に生じる波峰分裂は、没水平板の集波効果に対する影響が大きいことが確認された。

(4) 三日月型没水平板の入射波条件の変化に対する波浪変形現象の変化は、入射波周期、波向きの変化に対しては比較的穏やかであることが確認された。しかし、入射波波高、没水深度の条件によっては平板上での砕波という顕著な影響があることが確認された。

(5) 没水平板周辺の波高分布については、ダブレット分布法による数値計算は周期が短い時には実験値と良好な一致を示すことが確認された。しかし、周期が長くなると実験における波形の非線形化・波峰分裂の影響による波高増幅のために良好な一致が得られなかった。

(6) 分裂波形を Fourier 展開を用い記述することにより、得られる 1 次成分波の波高並びにエネルギーフラックスの実験値は、ダブレット分布法による計算値と良好な一致を得ることができた。

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)」の中の波浪制御技術に関し、海洋科学技術センターと鹿島建設株式会社との共同研究として実施したことを付記し、関係各位に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 谷本勝利, 吉本靖俊, 岡 幸夫: 大水深波浪制御

- 構造物の水理特性と試設計, 第 32 回海岸工学講演会論文集 (1985), pp. 515-519.
 - 2) J. Helstad: Power production based on focused ocean swell, Norwegian Maritime Research, No. 4, (1980), pp. 34-42.
 - 3) 工藤君明, 續辰之介, 今井貫爾, 秋山義信: 没水平板の集波効果に関する研究—凸レンズ型没水平板による波の変形解析—. 日本造船学会論文集, 第 106号 (1987), pp. 35-43.
 - 4) 石原藤次郎, 本間仁編: 応用水理学 (中Ⅱ), 丸善, (1958), pp. 519.
 - 5) P. L. Chadler, R. B. Sorensen: Transformation of wave passing a submerged bar, Proceeding of the 13th Coastal Engineering, Ch. 19, (1972), pp. 385-404.
-