

波浪発電用集波装置の開発

— 第2報 回折と反射の集波効果への影響 —

岩永正裕*・山岸陽一*

A Development of Apparatus Converging Ocean Waves
on Wave Power Converter
— 2nd Report, Effect of Wave Diffraction and Reflection
on Converging Wave Energy —

Masahiro IWANAGA and Yōichi YAMAGISHI

Abstract

The purpose of this paper is to develop an apparatus converging ocean wave energy on a wave power converter like an optical convex lens. And in the 1st report, we reported that wave energy converged on a point of the flat square plate submerged horizontally. The converging conditions were very complex and all the concerning physical factors were not revealed.

In this report we used the square plates and rectangular plates with reflector at the rear edge of them, and we studied the effect of wave diffraction and reflection on converging wave energy.

As a result, we could estimate the converging point of diffraction wave by using Huygens' principle, but it did not always agree with the maximum energy point on the plate. The reflection of wave occurred at the edge of the plate, and sometimes the maximum energy point coincided with the point where the reflected wave collided against the progressive wave.

The reflection of wave caused the natural oscillation of the wave on the plate, and one of converging conditions was as follows. The frequency of wave is integral multiple of the characteristic frequency of the wave on the plate.

1. ま え が き

本研究は分散している沖合の低密度の波浪エネルギーを波浪発電装置に収束させることができる集波装置の開発を目的とし、前報¹⁾において正方形の平板を水中に水平に沈めて実験し、平板上の一部にかなりのエネルギーが集中することがわかり、水深と波長を変化させて、どのような条件でエネルギーの集中が見られるかを調べた。しかしこれらの条件は非常に複雑であり、何故にこのように平板上の最大波高比の値や最大波高点の位置が変化するのは明確ではなかった。

そこで正方形の平板と後端に反射板を設けた長方形

の平板を水平に沈めて実験し、波の回折と反射が集波効果へ及ぼす影響を調べる。

記 号

B : 平板の幅

b : 回折の影響を受けていない波峰線の長さ

C_0 : 無限水深の波速

C_b : 平板上の波速

f : 最大波高点の平板後端からの距離

f_{HUY} : 回折による焦点の平板後端からの距離

H_{max} : 平板上の最大波高

H_0 : 水深

L : 平板の長さ

ℓ : 焦点距離 (回折による焦点の平板前端から

平成3年9月28日受理

* 機械工学科

の距離)
 T_b : 固有振動の周期
 T_0 : 波の周期
 t : 時間
 x : 平板前端からの距離
 λ_b : 平板上の波長

2. 回折現象

正方形や長方形の平板を水平に沈めるとき平板上に波が集まるとすれば、まず考えられるのは回折現象である。ホイヘンスの原理を用いてどのように波が集まるかを調べる。無限水深の波速を C_0 、平板上の波速を C_b とする。

Fig. 1 に示すように EFGH の波峰線が単位時間後に E'F'G'H' に移動したと考える。FG, F'G' は回折の影響を受けていない波峰線, EF, GH, E'F', G'H' は回折により影響を受けた波峰線である。E から E'F' に下した垂線の足を O, F' から EF に下した垂線の足を P, F' から FG に下した垂線の足を Q とする。ホイヘンスの原理により直線 EF と直線 E'F' の距離と直線 FG と直線 F'G' の距離は C_b (単位時間に波が進む距離) であり、距離 EE' は C_0 である。△EE'O より $C_b = C_0 \sin \theta'$, △FQF' より $C_b = FF' \cos \theta$, △FPF' より $C_b = FF' \sin (\theta + \theta')$ となり、これらの3式より FF' と θ' を消去すると $\tan \theta = (1 - C_b/C_0) / \sqrt{1 - (C_b/C_0)^2}$ とな

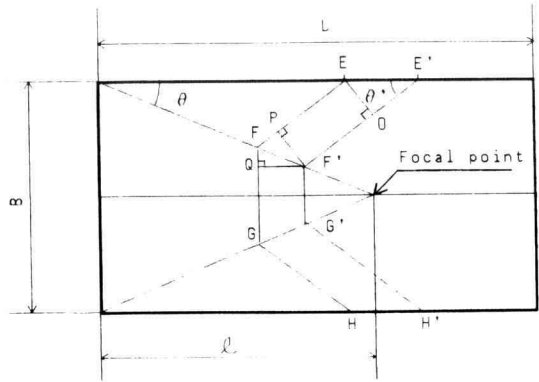


Fig. 1. Diffraction model by using Huygens' principle.

る。したがって焦点距離 l は次式となる。ただし B は平板の幅である。

$$l/B = \frac{\sqrt{1 - (C_b/C_0)^2}}{2(1 - C_b/C_0)} \quad (1)$$

これを実験的に確かめるために一辺 200 mm の正方形の平板を水深 6 mm に水平に沈めて波長 300 mm の波を起こし、Fig. 2 のようにライトを斜めから照射して波峰線を可視化し、これを真上からビデオ撮影した。Fig. 3 は平板上の波の様子を示しており、波は左から右に進んでいる。白い部分が波高が高いことを表す。図中の直線はホイヘンスの原理による回折波到達の限界

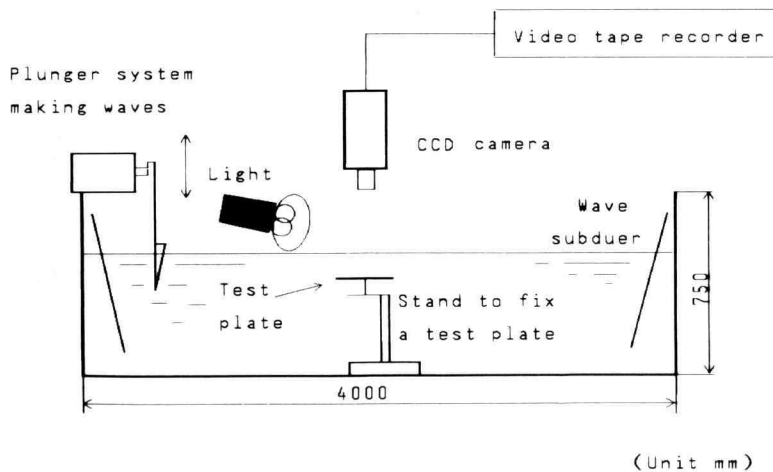


Fig. 2. Experimental apparatus.

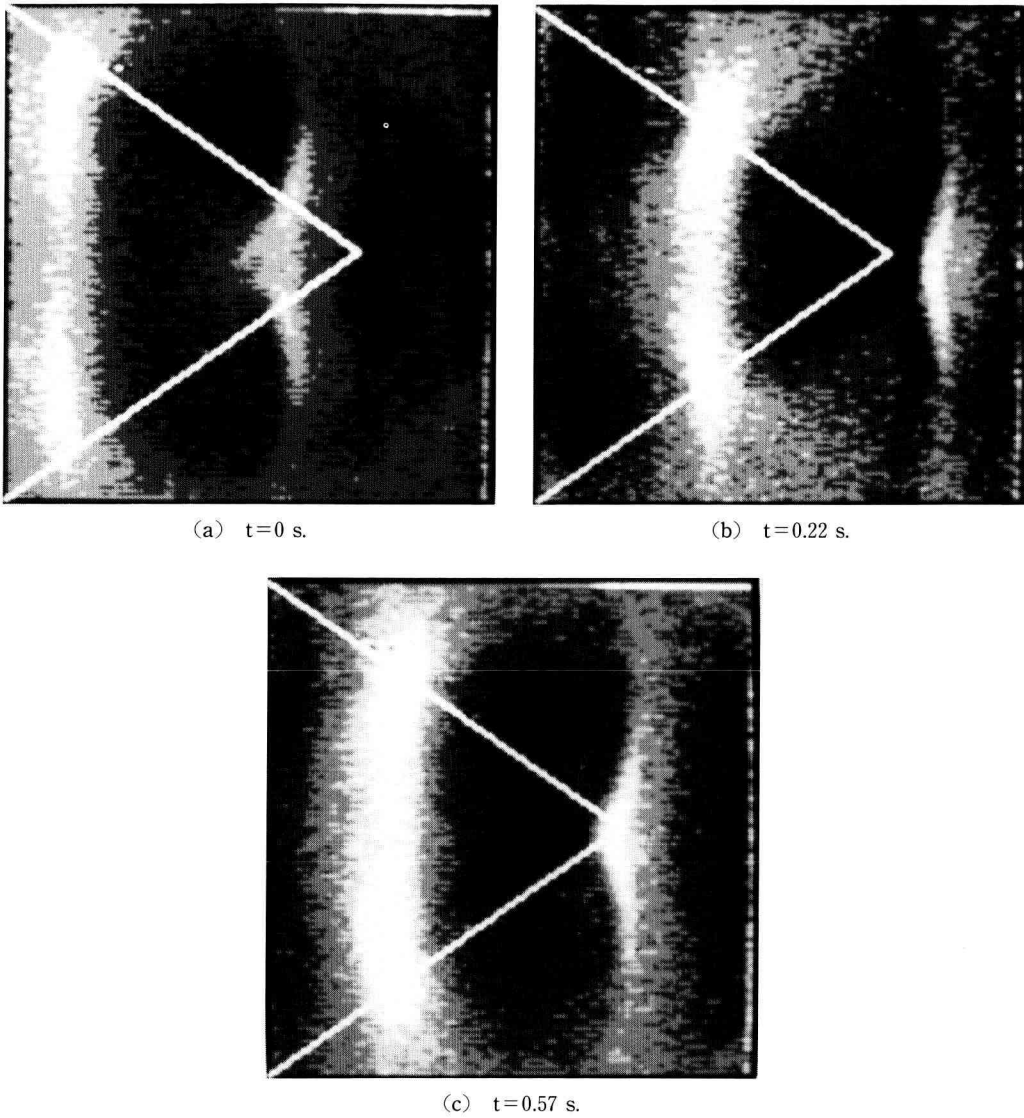


Fig. 3. Visualization of wave on square plate.

線を表し、この直線に沿って波のエネルギーが集中して行くことがわかる。これらの結果をもとに波峰線の変化を調べたものが Fig. 4 であり、平板前端からの距離 x を横軸にとった。○印は縦軸に FG に相当する距離 l をとり、■印は縦軸に時間をとった。実線はホイヘンスの原理による理論値を示し、実験とほぼ一致している。このことからホイヘンスの原理によって回折による焦点位置を予測できることがわかる。

3. 平板上の反射波

よく知られているように浅い水路から深い水路に波が進むとき強い反射波が発生する²⁾。

Fig. 5 はこれを実験的に確かめたもので、一辺 200 mm の正方形の平板を水深 11 mm に水平に沈めて波長 300 mm の波を起こし、ライトを斜めから照射して波峰線を可視化してこれを真上からビデオ撮影し、平

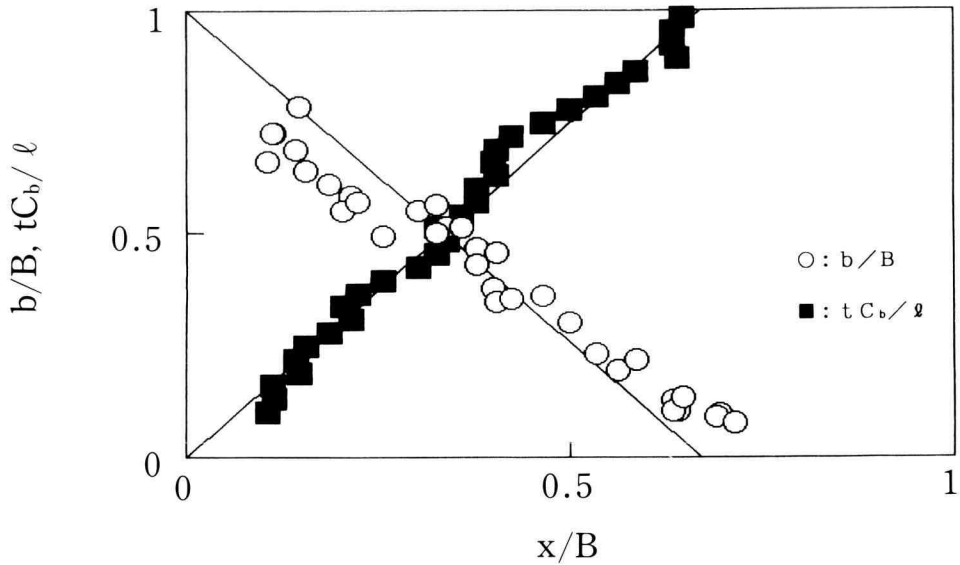


Fig. 4. Change of wave on square plate by diffraction.

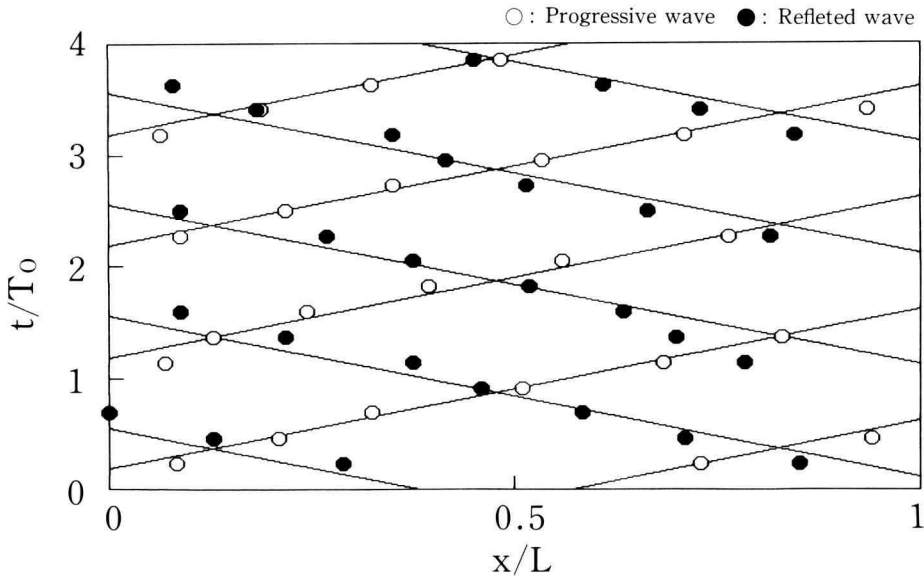


Fig. 5. Propagation of progressive wave and reflected wave on square plate.

板の中心線上の進行波と反射波の位置を計測したものである。平板後端で波は1/2周期遅れて反射されることが確かめられる。

Fig. 6 は 200×250 mm の長方形の後端に反射板を

設けた平板を水深 11 mm に水平に沈めて波長 300 mm の波を起こして平板の中心線上の進行波と反射波の位置を計測したものである。平板後端で波は遅れなく反射されることが確かめられる。

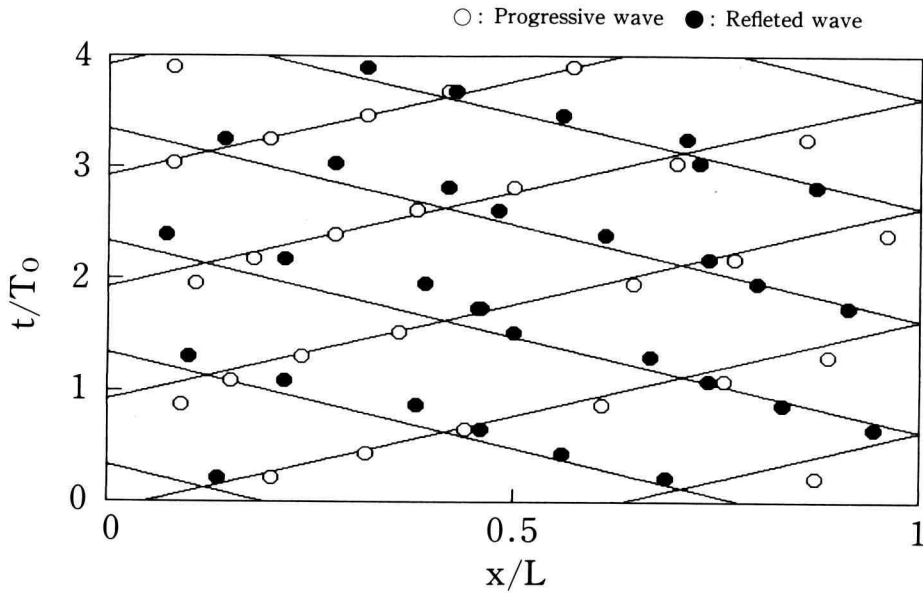


Fig. 6. Propagation of progressive wave and reflected wave on rectangular plate with reflecting plate.

4. 平板上の波の固有振動

平板の前端と後端で平板上の波が反射されると考えてその固有振動数を求める。反射板がない端点では、反

射波は1/2周期遅れるので平板上の波長を λ_b とすると有効物体長が1つの端点に対して $\lambda_b/4$ だけ伸びると考えれば良い。従って平板の長さを L とすると波が平板上を1往復する時間は、後端に反射板がない場合

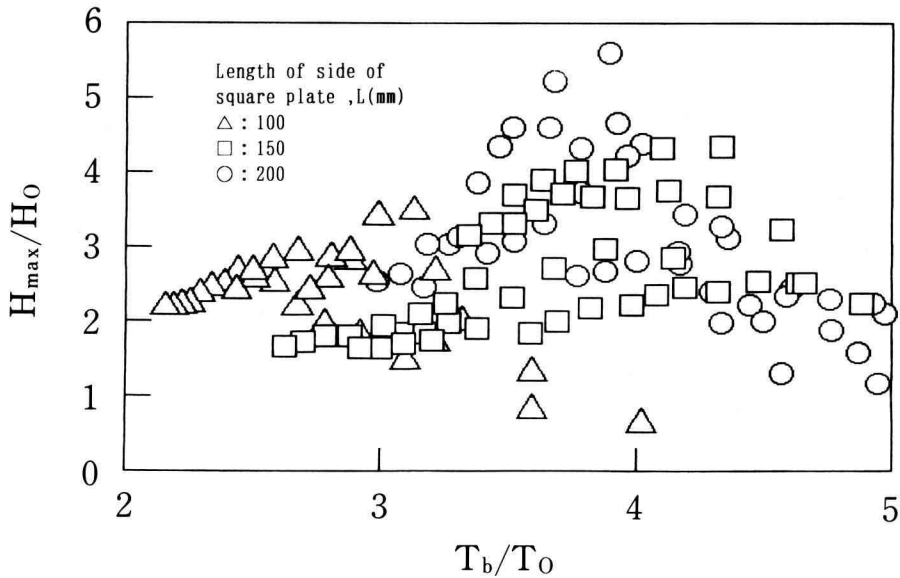


Fig. 7. Relation between wave height and period for square plate.

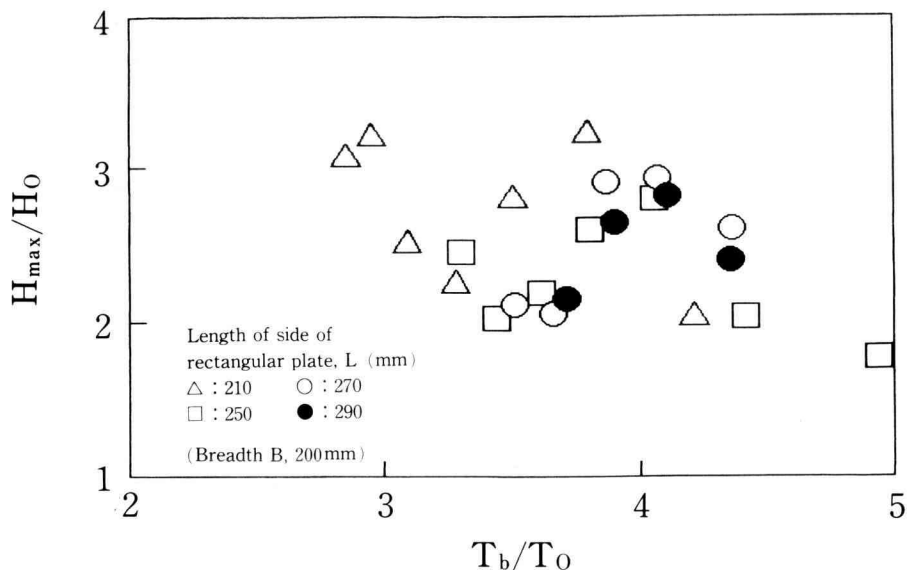


Fig. 8. Relation between wave height and period for rectangular plate with reflecting plate.

は $(2L + \lambda_b)/C_b$ となり、後端に反射板がある場合は $(2L + \lambda_b/2)/C_b$ となる。これらがそれぞれの場合の固有振動の周期 T_b である。なお波の周期を T_0 とする。

Fig. 7 は固定壁を持たない一辺 100~200 mm の正方形平板について横軸に T_b/T_0 を、縦軸に平板上で得

られる最大波高比 H_{max}/H_0 をとったもので、一辺の長さで記号を変えてある。それぞれの記号について H_{max}/H_0 が最大となる T_b/T_0 の値を調べると、 T_b/T_0 の値が整数比 3 あるいは 4 となることがわかる。

Fig. 8 は後端に反射板を設けた幅 200 mm, 長さ 210

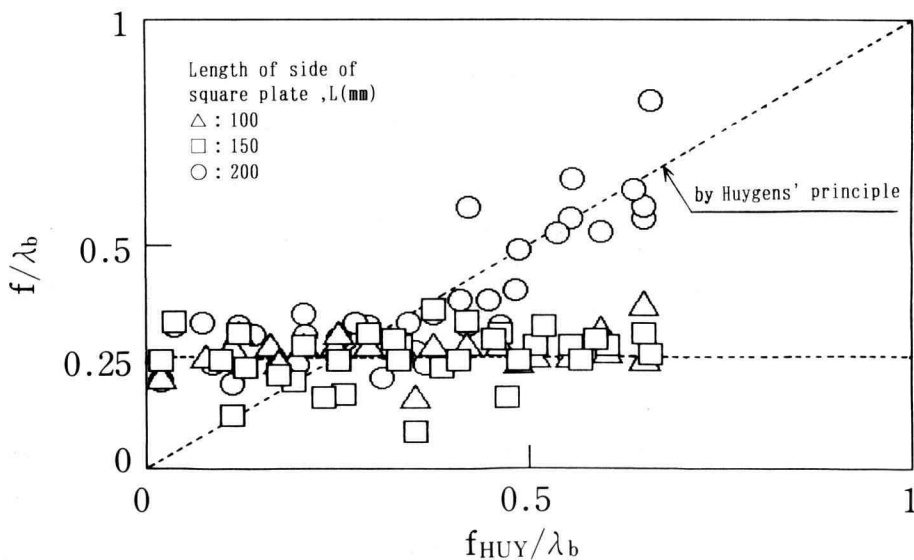


Fig. 9. Relation between point of maximum wave height and theoretical focal point for square plate.

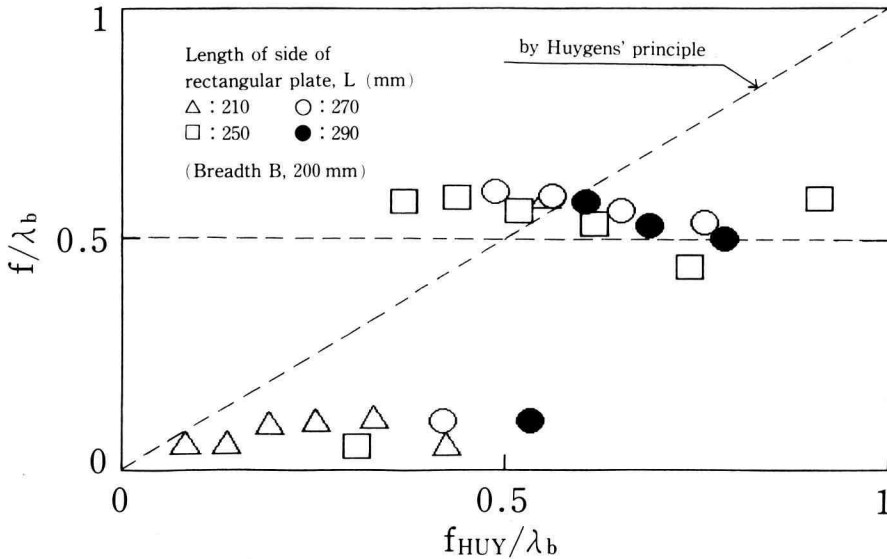


Fig. 10. Relation between point of maximum wave height and theoretical focal point for rectangular plate with reflecting plate.

~290 mm の長方形平板の場合の同様の図であり、 T_b/T_0 の値が整数比3あるいは4になったとき H_{max}/H_0 は極大となることがわかる。

以上のように平板上の波の固有振動の周期と波の周期の比が整数比となることが波高比を高める1つの条件であることがわかった。

5. 平板上の最大波高点

平板上の最大波高点の位置を調べる。Fig. 9 は一辺 100~200 mm の正方形の平板を水深 7~19 mm に水平に沈めて実験を行った結果であり、最大波高点の平板後端からの距離 f を縦軸に、(1)式から得られる回折による焦点の平板後端からの距離 $f_{HUY}(=L-l)$ を横軸にとったものであり、一辺の長さで記号を変えてある。最大波高点は(1)式の焦点 f_{HUY} と一致する場合もあるが、後端から $\lambda_b/4$ の位置となる場合が多いことがわかる。この点は進行波と反射波がぶつかる位置である。最大波高点が f_{HUY} と一致するのは一辺が 200 mm の場合に見られるが、これは平板の大きさが大きいために回折によって大きなエネルギーが集まったためであると考えられる。

Fig. 10 は幅 200 mm 長さ 210~290 mm の長方形の後端に反射板を設けて、水深 7~19 mm、波長 300 mm

について最大波高点の位置を調べたものであり、 f_{HUY} の値が $\lambda_b/2$ より小さな場合は最大波高点は後端近傍にあるが、 f_{HUY} の値が $\lambda_b/2$ に近づくと最大波高点は後端から約 $\lambda_b/2$ の位置へと移動することがわかる。これらの点は進行波と反射波がぶつかる位置である。

6. む す び

正方形の平板と長方形の平板の後端に反射板を設けたものを水平に沈めて実験を行い波の反射と回折が集波効果に及ぼす影響を調べた。ホイヘンスの原理により回折波が平板上で集まる点を予測できることを確かめた。しかし最大波高点の位置は必ずしもこの点に一致せず、平板後端で発生する反射波が進行波とぶつかる点と一致する場合が多いことがわかった。さらにこの反射波により平板上で波の固有振動が生じて、固有振動の周期と波の周期の比が整数であることが最大波高を得るための一つの条件であることがわかった。

7. 謝 辞

本研究は本学4年次卒業研究として行われたものであり、下記の諸君の協力を得た。ここに謝意を表します。

望月 敬, 森谷 昌一
石毛 克典, 大野 恭博
新村 善弘, 西内 良平
高橋 武久, 長村 佳明

参 考 文 献

- 1) 岩永・山岸, 波浪発電用集波装置の開発, 神奈川工科大学研究報告, No. 13, (1989), 39.
- 2) H. Lamb, Hydrodynamics 6th edition (1932), Cambridge, 262-263.