(昭和 63 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 3 報)

——没水平板型波浪集中装置の設計法について——

正員 工 藤 君 明* 続 辰 之 介*
 今 井 貫 爾** 奥 津 一 夫**
 正員 秋 山 義 信**

Study on the Wave Focusing by a Submerged Plate (3rd Report)
 ——Wave Force and Design Procedure——

by Kimiaki Kudo, *Member* Tatsunosuke Tsuzuku
 Kanji Imai Kazuo Okutsu
 Yoshinobu Akiyama, *Member*

Summary

In the previous papers by the present authors, it was shown that a particular shape of the thin submerged plate (a "Crescent type") would be the best one for concentrating ocean wave energy at a certain focal zone. This was demonstrated by performing some fundamental hydraulic tests as well as some numerical simulation.

However, in order to proceed further to next practical step, it might be thought that the wave force distribution around the structure should be clarified in detail, and at the same time, an appropriate design procedure should be implemented. Therefore, in the present paper, the wave force distribution will be studied by both experimental and theoretical methods in the first place. And subsequently a necessary design procedure for the plate, including its actual construction method, will be described. Some design proposals will be reported for the site conditions of representative coastal areas in Japan.

1 緒 言

沿岸海域を総合的に利用するための技術の一つに、波浪制御技術があげられる。従来の波浪制御に対する考え方は、防波堤等の重量で剛に波のエネルギーに対抗するものであり、多くの実績があることは言うまでもない。反面、沿岸海域が高密度で利用されてくると、景観、海水交流等の新たな問題が生じてきた。

海洋科学技術センターでは、これらの問題を解決するための新しい波浪制御技術として、没水平板による波浪集中消波技術の研究開発を進めている¹⁾。この波浪制御技術は、海の波の伝播速度が、水深の大きい場所では速く、逆に浅い場所では遅くなる性質を利用するものである。没水した平板により人工の浅瀬を造成すると、波は平板上では周囲よりも遅れて進むことになるため、入射方向と波向きが異なってくる。没水平板の平面形状とし

て、平板の幅が中央で広く端部で狭い三日月型を選定すると、光がレンズによって焦点に集まるように、波の向きを変化させることができ、没水平板の岸側の任意の領域に波を集めることができる²⁾。前報までの研究により、没水平板による波浪変形現象を、水理模型実験および数値計算によって確認し、集波等の基本性能を把握することができた。

没水平板の波浪制御技術を実用化するためには、研究の第二段階として、外力を算定し構造系の検討を行う必要がある。そこで、本報告では、肉厚の薄い没水平板に作用する波力特性に関する水理模型実験の結果と、実海域を想定して実施した設計的研究について報告する。

2 波 力 特 性

2.1 実験方法

(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 Fig. 1 に示す。座標原点は没水平板入射側外縁

* 海洋科学技術センター

** 鹿島建設株式会社

Fig. 1 Coordinate system

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、中心線方向に y 軸、鉛直上向に 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ことになる。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、また、 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。

実験に使用した三日月型没水平板の模型形状は、Table 1 に示す設計条件に対し、前報²⁾で示した屈折波理論を用いた方法により設計した。模型の平面形状は Fig. 1 に示すとおり、代表長さ 4.01m、中央部での代表幅 1.25m である。この形状は、入射側外縁は長軸 5.94m、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 20mm の耐水ベニヤ製である。また、模型の支持には没水深度を変化できる治具を取り付けた直径 2cm の PC 鋼棒支柱 19 本を用いた。

なお、本実験は現地で 20m 内外の水深の海域を想定して模型実験を行ったものである。模型における水深は 1.0m であるから、模型縮尺は 1/20 となり Froude 相

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 Measuring point for wave pressure

Table 2 Experimental and computational conditions

Case	Submerged water depth d (m)	Wave height H_i (m)	Wave period T_i (sec)	Wave length λ_i (m)	B/λ_i
1	0.2	5.0	1.0	1.56	0.801
2	0.2	5.0	1.2	2.23	0.561
3	0.2	5.0	1.4	2.97	0.421
4	0.2	3.0	1.2	2.23	0.561
5	0.2	7.0	1.2	2.23	0.561
6	0.2	20.0	2.0	5.21	0.240
7	0.2	25.0	2.5	6.94	0.180
8	0.2	35.0	2.5	6.94	0.180
9	0.2	25.0	3.0	8.69	0.144
10	0.2	35.0	3.0	8.69	0.144

似則を適用すると、上記没水平板により集める対象とする波浪の現地での周期は 5.4 秒となる。

(2) 波圧測定実験方法

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。波圧の測定点を Fig. 2 に示す。波圧の測定には、超小型半導体式圧力計（定格容量 0.1, 0.5 kgf/mm²）を用いた。測定点は没水平板が中心軸に対称であるので、片側半分とし、表・裏側で各々 32 点ずつ計 64 点で行った。

実験条件を Table 2 に示す。水深および没水深度はそれぞれ 1.0m、0.2m に固定し、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（Case 1～5）とは平板形状の設計条件、すなわち平板によって集める対象とする波浪の条件（模型値：周期 1.2 秒、現地値：周期 5.4 秒）を中心にした波浪である。一方、異常時波浪（Case 6～10）とは周期の長い波高の大きい波で平板の構造系の設計条件波浪（耐波条件）近くの波浪を対象としたものである。

2.2 流体力の数値解析方法

流体力すなわち波圧および波力の評価には、線形回折波理論を用いた。手法としては、三次元特異点分布法^{3),4)}およびストリップ法を用いた。

特異点分布法のメッシュ分割に当たっては、今回計算対象とする没水平板が、水平方向のスケールに比し、鉛直方向のスケールが小さい特殊なものであるため、前もって、長方形没水平板により精度の検討を行った。その結果、平面方向で入射波波長の約 1/4 以下の要素でメッ

Fig. 3 Mesh layout for source distribution method

Photo. 1 Experimental for a crescent plate

シュ分割を行えば、妥当な精度が得られることが確認された。なお、鉛直方向要素は平面方向要素とその大きさに対し整合性を持たせたものを使用した。そこで、三日月型没水平板の計算では、三日月型が中心軸に対して対称であることを利用し半分でモデル化を行い Fig. 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 の三角形および四角形要素による分割である。

一方、ストリップ法による計算は平板全体を幅方向に 8 分割するストリップを考え計算を行った。なお、2 次

元の水平板であるストリップに作用する流体力の評価には 2 次元のポテンシャル接続法⁵⁾を用いた。

2.3 結果および考察

(1) 実験状況

Photo. 1 に異常時波浪 (模型値: 周期 2.5 秒, 波高 35 cm, 現在値: 周期 11.2 秒, 波高 7.0 m) 作用時における実験状況の一例を示す。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 回碎波していることがわかる。これらの碎波は、平板上での入射波自身の浅水変形に伴う波高の増幅および平板外縁から生じる戻り流れが平板上を進行してきた波と衝突することにより生じるものである。したがって、その碎波の形態も進行波の碎波形態である巻き波碎等にはならず、重複波の碎波で見られるような跳波的な碎波となる。なお、碎波の一つの要因となった戻り流れとは、平板の表と裏に 2 つに分けられた波が位相速度が違ふことにより平板透過側外縁で不連続となるために生じるものであると考えられる⁵⁾。

(2) 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 Fig. 4 に示す。縦軸は入射波高により無次元化した波圧で点線を中心に ± 1.0 となる。横軸は時間で、入射波周期の 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ことがわかる。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、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とがわかる。これは、前節でも示したように、碎波の形態が跳波になるためにこのようになったものと考えられる。

Fig. 4 Time histories for wave pressures

Fig. 5 Wave pressure distribution along the center line of plate

(3) 波圧分布

y 軸上の波圧最大値の線分布を Fig. 5 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により周期変化に対し差が大きく、どの周期においても $y=0.75$ 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見捨てる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、平板上で激しい砕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少ないことがわかる。また、その大きさもフルードクリロフ圧力に近くなることがわかる。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 Fig. 6 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が大きい複雑な分布形となっていることがわかる。これは、回折効果・戻り流れ現象等の影響によるものと考えられる。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くことがわかる。また、裏側では同時位相で波圧最大値が生じることがわかる。

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ないことがわかる。また、裏側の入射側外縁近傍

a) Normal Wave Condition

b) Typhoon Wave Condition

Fig. 6 Wave pressure distribution on plate

で 0.9 という大きな値を示すことがわかる。

(4) 波力特性

Fig. 7 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。

図より、実験値と2つの計算値（特異点分布法およびストリップ法）は周期 2.0 秒のピーク付近で若干の差が

Fig.7 Resultant vertical wave force

Table 3 Load conditions

	Case 1 Japan Sea	Case 2 Pacific Ocean	Case 3 Inlet
Water depth	20 m	20 m	20 m
Tidal difference	0.6 m	1.2 m	1.2 m
Design wave	wave height	12 m	15 m
	wave period	11 sec	8 sec
Tidal current	2 knot	2 knot	1 knot
Seismic force	0.12	0.12	0.18
Soil condition	Soil with its N value approx. 20	Soil with its N value approx. 30	N value zero with in 10m N value 30 down below

remark 1 : Design life span is 25 years through all three cases.

remark 2 : Design wave is defined as the expected values during 100 years.

remark 3 : The submerged plate is designed for the waves with its $H/3=0.5\sim 2.0$ m as well as its $T/3=6$ sec.

remark 4 : Seismic force is defined by the horizontal seismic coefficient K.

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にもかかわらず、特異点分布法およびストリップ法による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。

3 没水平板の設計

本章では、前章で示した三日月型没水平板を用いて波を集める構造物、すなわち、没水平板型波浪集中装置の設計について示す。

3.1 設計方針

(1) 設計条件

日本沿岸域の自然条件を考慮し、三種のモデル海域を設定し設計を実施した。三海域として波浪条件が厳しい日本海側および太平洋側と波浪条件は穏やかであるが地震条件が厳しく軟弱地盤上に位置する半開放性湾内を設定した。Table 3 にモデル海域の自然条件を示す。設置

水深は3ケースとも20mとした。日本海側と太平洋側の波浪条件は文献7)を参考にして設定し、半開放性湾内については伊勢湾と東京湾について浅海域で有効とされるBretschneider法を用いて波浪推算した結果を参考に設定した。また、土質条件は既往の海岸・海洋構造物の設計事例を参照した。

(2) 準拠基準

設計に当たっては主として次の設計基準類に基づいた。

① 「港湾の施設の技術上の基準・同解説」

日本港湾協会⁸⁾

② 「海洋コンクリート構造物設計施工指針（案）」

土木学会⁹⁾

③ 「海洋鋼構造物設計指針（案）解説」土木学会¹⁰⁾

3.2 構造形式の選定

没水平板型波浪集中装置は波を集める没水平板部とそれを支える基礎部から成る。没水平板型波浪集中装置の特徴の一つは完全没水構造物ということがあげられる。完全没水構造物では浮力により有効鉛直重量が低減するため、構造物の安定性は陸上構造物や一部が没水している構造物に比して低下するおそれがある。そのため、基礎部形式の決定は設計上重要なポイントであると考え、今回の検討では、海洋土木着底式構造物の基礎構造として一般的である杭式基礎構造と重力式構造を検討した。

杭式基礎構造とは、作用外力（例えば、自重、波力、地震力）に対して基礎杭が有する耐力で支持安定させる構造である。一方、重力式構造は、構造全体の浮力分を除いた有効重量により構造物の安定を保つ構造である。

没水平板に作用する波力を考えると、水平波力に加えて、波圧の作用面積が大きい鉛直方向に多大な鉛直波力（揚圧力）が生じる。このため、有効重量により安定を計ろうとする重力式基礎構造は、浮力に加えこの鉛直波力で有効重量が大幅に減少し、構造的に杭式基礎に比して不利であると考えられる。すなわち、構造物の安定性を向上させるために基礎部を大型化し基礎重量を増加させても、大型化に伴い作用波力（あるいは地震時慣性力）も増加し、さらに基礎部を大きくする必要が生じる可能性がある。

Table 4 に Case 2 の条件下での杭式基礎構造と重力式基礎構造を比較した例を示す。重力式基礎は没水平板部の寸法に比してかなり大型となり、有効重量を増やすために函体の中に砂バラスト、コンクリートバラストが必要である。この比較結果を基に経済性、施工性等を加味して基礎構造として杭式基礎構造を選定した。また、本構造のように多大な鉛直波力が作用する場合、たとえ杭式基礎構造であっても、没水平板部の重量を重くして有効鉛直力を大きくすることにより使用する杭の長さを

Table 5 Load combination

Condition Loads	Normal	Waves (crest)	Waves (trough)	Earthquake
Self-weight	○	○	○	○
Buoyancy	○	○	○	○
Normal wave force	○	—	—	—
Maximum wave force	—	○	○	—
Current force	○	○	○	—
Inertia force due to earthquake	—	—	—	○
Dynamic water pressure	—	—	—	○

柱状体に作用する地震時動水圧は「海洋コンクリート構造物設計施工指針（案）」により次式で求めるものとする。

$$P_b = \alpha K w_0 A \frac{b}{a} \left(1 - \frac{b}{4H}\right) \sqrt[3]{\frac{h}{H}} \quad (b/H \leq 2) \quad (4)$$

$$P_t = \alpha K w_0 A \frac{b}{a} \left(0.7 - \frac{b}{10H}\right) \sqrt[3]{\frac{h}{H}} \quad (2 \leq b/H \leq 4) \quad (5)$$

ここに、 P_b は海面からの深さ h (m) における地震時動水圧 (ton/m), w_0 は海水の単位体積重量, α は運動様式による補正係数 (通常は 1.0), A は構造物の水平断面面積 (m^2), a は地震動に平行方向の構造物の長さ (m), b は地震動に直角方向の構造物の幅 (m), H は全水深である。

(4) 外力の組合せ

没水平板型波浪集中装置に作用する外力は前記の他に自重および浮力を考える。検討ケースとしては常時、波浪時（波峰、波谷）および地震時の4ケースであり、この場合の外力の組合せを Table 5 に示す。

3.5 杭の支持力

(1) 鉛直支持力

鉛直支持力は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」より次式で算定する。

(a) 許容押込み力

$$R_a = \frac{R_u}{F} \quad (6)$$

$$R_u = 40 N A_p + \frac{\bar{N} A_s}{5} \quad (7)$$

ここに、 R_a は杭の許容支持力 (ton), R_u は杭の極限支持力 (ton), F は安全率, N は杭先端地盤の N 値, $\bar{N}$ は杭根入れ全長に対する平均の N 値, A_p は杭の先端面積 (m^2), A_s は杭周の全表面積 (m^2) である。

(b) 許容引抜き力

$$R_{at} = W_p + \frac{R_{ut}}{F} \quad (8)$$

$$R_{ut} = \frac{\bar{N} A_s}{3} \quad (9)$$

ここに、 R_{at} は杭の許容引抜き力 (ton), R_{ut} は杭の極限引抜き力 (ton), W_p は杭の自重（浮力を差し引いた

Table 6 Safety factor

		Compression	Tension
Long period (Normal)		2.5	3.0
Short period	Earthquake	1.5	2.5
	Strong wind		

もの) である。また、安全率は Table 6 の値を用いた。

(2) 杭の横方向地盤反力係数

杭の水平支持力を算定するため、杭の横方向地盤反力係数は、次式より算定する。

$$K_h = 0.15N \quad (\text{kg/cm}^3) \quad (10)$$

ここに、 K_h は横方向地盤反力係数, N は地盤の $1/\beta$ 付近までの N 値である。なお、 β は杭根入れ部での固定点を示すパラメータで次式で示される。

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K_h \cdot D}{4EI}} \quad (11)$$

ここに、 D は杭の外径 (cm), E は鋼のヤング係数 (kg/cm^2), I は杭の断面二次モーメント (cm^4) である。

(3) 杭の根入れ長

杭の設計根入れ長は次に示す2つの条件を満足するものとする。

① 押入力、引抜き力に対して十分な支持力を有する。

② 杭の横方向の荷重に対して充分安全な根入れ長さとする。

3.6 設計結果

Fig. 9 に没水平板型波浪集中装置の構造図を示す。この図は代表例として Case 1 (日本海側) の場合である。没水平板の寸法は幅 80m, 長さ 25m (中央部), 厚さ 2m である。基礎杭は外形 1,100mm, 肉厚 16mm, 根入れ長 20m の鋼管杭である。Case 2, Case 3 の場合は没水平板の寸法は変わらないが、基礎の鋼管杭の諸元が変わる。Case 2 では外形 1,100mm, 肉厚 18mm, 根入れ長 19m であり、Case 3 では外形 1,300mm, 肉厚 26mm, 根入れ長 22.5m である。

(1) 作用外力のまとめ

波力・潮流力・地震力の模式図ならびにその値を Table 7 に示す。没水平板は Fig. 9 に示すように6分割する。基礎部の設計は各ブロックごとに実施するが、Table 7 の値は平板中央の1ブロックの値である。Case 1, Case 2 では波浪による水平力合力が地震時の水平合力を上まわり、さらに、多大な揚圧力が作用する。一方、Case 3 では、逆に地震時の水平力が卓越する。

(2) 検討結果

Table 8 に杭反力および杭応力度の一覧表を示す。杭反力・杭応力度とも常時は異常時（波浪時・地震時）に

Table 7 External forces

			Case 1			Case 2			Case 3		
			Normal	Waves*	Earthquake	Normal	Waves*	Earthquake	Normal	Waves*	Earthquake
Wave force	Plate	PwH (t)	20.0	140.0	—	20.0	160.0	—	20.0	120.0	—
		PwV (t)	160.0	1,870.0	—	160.0	2,250.0	—	160.0	1,050.0	—
		Mpm (tm)	1,050.0	1,290.0	—	1,050.0	1,320.0	—	1,050.0	2,810.0	—
Current force	Pile	PwP (t)	10.4	104.8	—	10.4	162.4	—	13.8	63.0	—
		Pc1 (t)	0.3	0.3	—	0.3	0.3	—	0.1	0.1	—
		Pc2 (t)	1.9	1.9	—	1.9	1.9	—	0.6	0.6	—
Earthquake	Plate	Pe1 (t)	—	—	141.9	—	—	141.9	—	—	212.8
		Pw1 (t)	—	—	36.7	—	—	36.7	—	—	54.9
		Pe2 (t)	—	—	16.7	—	—	17.0	—	—	44.4
	Pile	Pw (t)	—	—	9.2	—	—	9.2	—	—	18.3

* : wave crest

Plan Figure ②-② Section

Front Cross Section

①-① Cross Section

Fig. 9 Design layout for the submerged plate

Table 8 Pile force and its stress

		Pile force		Allowable bearing force(t)		Pile stress				Pile Dimensions
		Max.(t)	Min.(t)	Compression	Tension	N (t)	M (tm)	σ_s (kg/cm ²)	σ_b (kg/cm ²)	
Case 1	Normal	82	47	415	-138	82.0	27.4	430	1900	$\phi 100$ mm t=16mm
	Waves(1)	-143	-156			-155.9	191.1	1900		
	Waves(2)	323	313	691	-156	322.8	188.1	2340	2850	
	Earthquake	122	47			120.4	269.6	2670		
Case 2	Normal	82	47	591	-177	82.2	26.1	370	1900	$\phi 100$ mm t=18mm
	Waves(1)	-193	-201			-200.8	232.0	2040		
	Waves(2)	373	358	985	-204	373.1	229.0	2440	2850	
	Earthquake	122	47			119.9	266.6	2310		
Case 3	Normal	78	50	759	-155	78.4	53.5	290	1900	$\phi 100$ mm t=26mm
	Waves(1)	-26	-68			-67.7	277.9	1020		
	Waves(2)	220	211	1266	-175	219.8	275.9	1240	2850	
	Earthquake	185	-15			182.5	722.8	2710		

remark) : N : axial force, M : bending moment
 * Pile stress is calculated by including the design corrosion thickness 2.5mm.
 * Waves(1) : wave crest, Waves(2) : wave trough.

比べかなり小さく、構造は異常時の荷重で決定される。杭反力は押込みについて各ケースとも許容値を十分下回っているが、引抜きに注目すると Case 1, Case 2 ではほぼ許容値に達している。これは、波浪時の揚圧力の効果が顕著に現われた結果である。杭応力度については、Case 1, Case 2 では波浪時・地震時ともほぼ同様なレベルにあるが、Case 3 では地震時の応力度が卓越している。以上のように、Case 1, Case 2 では波浪時の条件で、Case 3 では地震時の条件で構造が決まっていると言える。

3.7 施工法

没水平板型波浪集中装置は施工性を考慮して、6分割して施工する。設置地点近傍の港湾内で分割製作した没水平板を、設置海域まで台船に積載して曳航後、自己昇降式の作業台を用いて設置地点に固定することを検討している。この時、基礎杭の施工精度を高めるためにプレキャスト化した没水平板をテンプレートとして利用する。

4 結 言

新しい波浪制御構造物である没水平板に関し、波によって生じる流体力特性を水理模型実験によって求め、理論解析値と比較を行った。また、この結果をもとに、設計的研究を実施し、次の結論を得た。

(1) 常時波浪において、平板の表側に働く波圧は、回折効果のために入射波周期が変化する影響を顕著にうける。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。

(2) 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およぼすが、その大きさに対しては余り影響を及ぼさない。

(3) 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にもかかわらず線形回折波理

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。

(4) 設計的研究の対象とした没水平板の基本形状は、前報までの研究成果を基に決定した。海洋構造物の実績をみても、本構造のように、海面直下に構造物を固定する例は少ない。実験結果および線形回折理論を用いた解析結果によれば、没水平板には、水平方向波力に加えて鉛直方向に多大な揚圧力が作用する。したがって、設計を行う上でこの力を十分に考慮しなければならないことが判明した。

(5) 支持形式については、杭基礎形式と重力式形式の両方を検討したが、今回設定した設計条件（水深 20 m 内外）では、杭式基礎形式のほうが、構造物面、機能面、施工面、経済面からも優れていることが判明した。

最後に、実海域を想定して実施したケーススタディの結果、没水平板は、日本周辺海域でも十分にフィジブルな波浪制御構造物であるといえる。今後は、更に、このシステムの実用化を前提とした研究開発を実施していく予定である。

また、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（青いサンゴ礁計画）」の中の波浪制御技術に関するもので、海洋科学技術センターと鹿島建設株式会社の共同研究として実施してきたことを付記し、関係各位に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 工藤君明, 続辰之介, 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 160 号 (1986), pp.35~43.
- 2) 工藤君明, 続辰之介, 今井貫爾, 秋山義信, 池谷毅: 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—, 日本造船学会論文集, 第 162 号 (1987), pp.281~289.
- 3) Garisson, 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.
- 4) 日野幹雄, 宮永洋一: グリーン関数および仮想法による波力と波の回折計算, 土木学会論文集, 第 237 号, pp.51~62, 1975.
- 5) 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 (1972), pp.33~48.
- 6) 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 (1988), pp.259~266.
- 7) 山口栄三, 新井新一: 波浪発電—波浪情報 (収集と解析)—, 日本造船学会誌, 第 637 号 (1982), pp.298~306.
- 8) 運輸省港湾局監修: 港湾の施設の技術上の基準・

- 同解説, 日本港湾協会, (1979).
- 9) 土木学会海洋コンクリート構造物小委員会編: 海洋コンクリート構造物設計指針 (案), コンクリート・ライブラリー, 第 42 号, 土木学会 (1976).
- 10) 土木学会海洋構造物に関する調査研究委員会編: 海洋鋼構造物設計指針 (案) 解説, 土木学会, (1973).
-