

クレセント型没水平板の多方向波浪場での集波特性

今井 貫爾*・秋山 義信**・南 誠信**・工藤 君明***

1. はじめに

クレセント（三日月）型没水平板は、波の屈折現象を利用した波向き制御により、波高の大きな波は平板上で強制的に碎波させることにより消波し、波高の小さな波は平板背後で集波により波高を増大させエネルギーを集中させることにより波力発電装置等と組合せ、有効なエネルギー吸収システムを構築することが可能な波浪制御構造物である。今井ら（1987, 1988, 1999）は、クレセント型没水平板に関し、集波を含めた周辺の波浪変形特性・平板に作用する波力特性・没水平板の有効利用方法について、単体没水平板に規則波を作用させた模型実験および数値解析により検討を行った。

本報では、複数個の没水平板を現地で適用することを考え、現地波浪の不規則性ならびに複数個設置したことによる没水平板の集波効果に対する影響の把握を目的として行った模型実験の結果について示す。

実験は、従来タイプの固定型一体式2体と、浮体型分割式1体、計3体の没水平板を平面水槽に設置し、多方向不規則波を作用させて実験を行った。なお、浮体型分割式は、大水深（20m 海域を想定）の設置で経済的に有利な方法になると考えるもので、その構造形式としての妥当性については水槽実験とは別途に水路実験により確認を行った。

2. 実験方法

2.1 浮体型分割式没水平板基本特性実験（水路実験）

大水深海域でクレセント型没水平板の経済的な設置および作用波力の低減を考え、図-1に示すようにクレセント形状を48個（ブロック）の正方形の平面形状を持つ浮体型分割式で製作することを考えた。また、設置の容易さを考え、最小単位（ユニット）は静定構造系とし3ブロックの浮体を剛結し強緊張（テンションレグ式）3点係留とした。したがって、クレセント型没水平板は16ユニット48ブロックの構成となる。そこで、本実験で

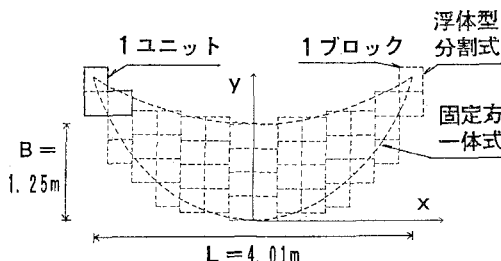


図-1 クレセント型模型形状

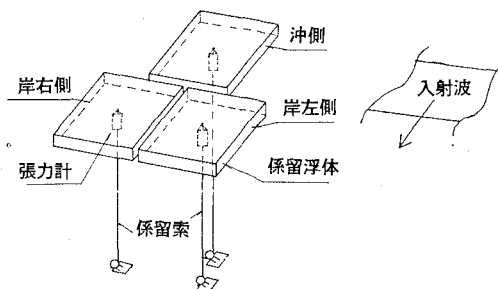


図-2 浮体型分割式没水平板基本特性実験方法

は、浮体型分割式の新設置方法の妥当性把握のために、上記したユニット（3個の浮体で構成）の模型に、荒天時（現地波高 6m 程度）相当の波浪を作用させ耐波能力の把握を行った。特に、強緊張係留であるので、多大な張力となるスナッフ張力が発生するか否かについて検討を行った。なお、スナッフ張力とは、係留浮体の上昇力（＝浮力－自重）を上回る下向き鉛直波力が作用した時に、一旦張力が零になり、それが復元する時に発生するもので、間欠的な時間波形を持ち、大きな張力となるものである。

実験方法の概要を 図-2 に、実験条件を表-1 に示す。実験には、長さ 60m、幅 2m、高さ 2m の 2 次元水路を用い、実験縮尺は 1/14 とした。水深は 1.43m、没水深度は 0.29m（2割水深）である。また、分割型係留式模型は、3ブロックの浮体を相互に間隙を設けて剛結し、係留は3本のワイヤーを用いて強緊張方式とした。計測項目は、入射波・係留索張力である。入射波の計測には容量式波高計を、係留索張力の計測には小型の

* 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

表一 実験条件 (浮体型分割式基本特性実験)

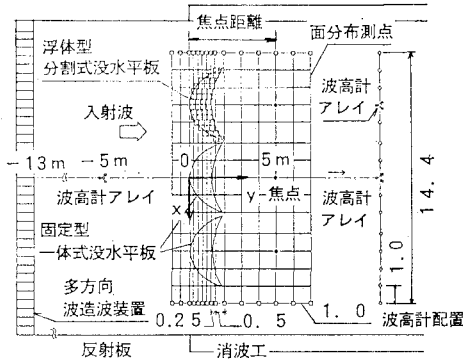
1ブロックの浮体諸元			入射波条件	
幾何形状	幅 B (m)	0.386	水深 h (m)	1.43
	長さ L (m)	0.386	没水深 d (m)	0.29
	高さ H_f (m)	0.143	周期 T (sec)	1.6, 2.0
重量 W (kg)	3.669	波高 H (m)	0.03~0.58	
浮力 Fb (kg)	21.306	種類	規則波	
上昇力 Fu (kg)	17.637	模型縮尺	1/14	

ロードセルを使用した。

2.2 複数没水平板の総合性能実験 (水槽実験)

実験方法の概要を図一3に示す。実験には長さ 60 m, 幅 18 m, 高さ 2 m の平面水槽を使用し、縮尺は 1/10 とした。クレセント型没水平板模型は固定型一体式を2体、浮体型分割式を1体、計3体設置した。なお、クレセント形状は、表一2に示す条件で、今井ら (1987) に示された屈折理論を使用した方法により設計を行ったもので、平板中央幅が 1.25 m, 波直角方向長さが 4.0 m である。模型の設置は、固定型一体式2体ではそれぞれ8本の杭を、浮体型分割式 (0.26×0.26 m, 48ブロック, 16ユニット) では48本の強緊張係留索を使用して行った。

実験条件を表一3に示す。実験は、常時の波を対象とし、波浪の不規則性の影響を考慮するために、規則波・直方向不規則波 (以下、直方向波)・多方向不規則波



図一3 複数没水平板の総合性能実験方法

表二 没水平板クレセント形状設計条件

入射波周期 T (sec)	1.2
水深 h (m)	1.0
没水深度 d (m)	0.2
焦点距離 f (m)	5.0
平板代表幅 B (m)	1.25
平板代表長 L (m)	4.0

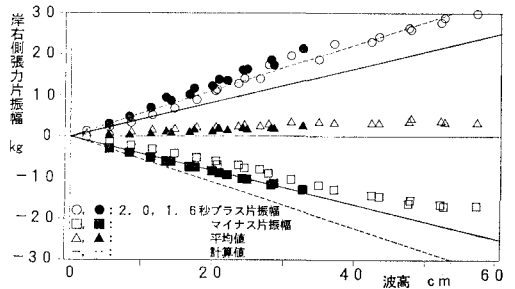
(以下、多方向波) を作用させて実験を行い、周期は集波設計条件の 1.2 sec とした。周波数スペクトルは Bretschneider・光易型スペクトルを、方向関数は光易型方向関数を使用した。なお、実験に使用した多方向波造波装置は、0.5 m 幅の36枚の造波板がリンク (折れ線形式)・ピストン式で稼働するものである。また、多方向波の造波信号の作成には、実験有効領域を大きくとることが可能な Darlymple (1989) により提案された側壁の反射を考慮した造波方法を使用した。

入射波の計測には4点星型アレイ (一辺の長さ 1.07 m) に配置した容量式波高計を、没水平板の周辺波の計測には移動式台車上に水槽幅方向に直線状に配置した容量式波高計を使用した。なお、平板周辺波の計測は、台車を移動することにより、水面波形の面的な分布の計測 (波進行方向15点×波進行直角方向15点=計 225 点) を行った。

3. 結果および考察

3.1 浮体式没水平板基本特性把握実験 (水路実験)

入射波波高の変化に対する、係留索張力の片振幅の実験結果について 図一4 に示す。なお、入射波周期を 1.6, 2.0 sec とした。図の横軸は入射波波高、縦軸は3本の係留索の中で最大の張力が発生した岸右側の係留索の変動張力で、正が引張、負が圧縮側である。図には、実験結果と合わせて、線形回折波理論 (3 次元特異点分布法) による強制波力の計算結果についても示す。なお、計算は、浮体相互の間隙はモデル化を行わず一体型



図一4 張力～波高変化特性

表一3 実験条件 (複数没水平板の総合性能実験)

平板設置条件		入射波 条 件	周期 T or $T_{1/3}$	波高 H or $H_{1/3}$	方向集中 度 $S_{\max}$
水深 h	1.0m	規則波	1.2sec	0.08m	∞
没水深 d	0.2m	直方向波	1.2sec	0.07m	∞
模型数	計3体 (固形型一体式2体+ 浮体型分割式1体)	多方向波	1.2sec	0.06m	75
			1.2sec	0.07m	10
		周波数スペクトルはBretschneider・光易型			
模型縮尺	1/10	方向関数は光易型方向関数を使用。			

として計算を行った。

図より、波高の増大に伴い張力の増加が見られるが、圧縮側張力は引張側に比べ、小さくなる傾向となり、スナップ張力が発生しない結果となる。これは、入射波の増大に伴い非線形性により波形が歪むことおよび浮体相互間の間隙の存在により波力の低減効果等の影響によるものと考えられる。また、実験結果と計算結果は比較的良好な一致を示す。

以上の結果より、想定した現地最大波高約 6 m（模型波高で 0.43 m）ではスナップ荷重は発生せず、浮体型分割式の設置方法の妥当性について確認を行った。

3.2 複数没水平板の総合性把握実験（水槽実験）

はじめに、模型設置前に実施した入射波条件の検定結

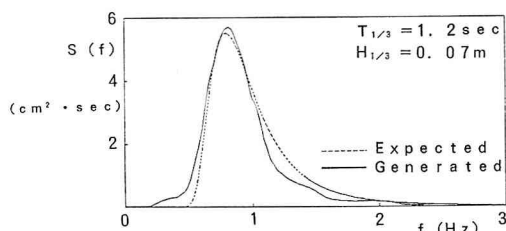


図-5 入射波周波数スペクトル

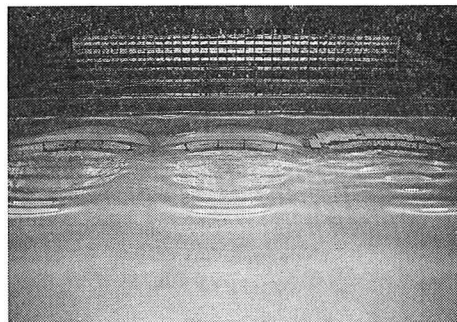


写真-1 実験状況（複数没水平板の総合性能実験）

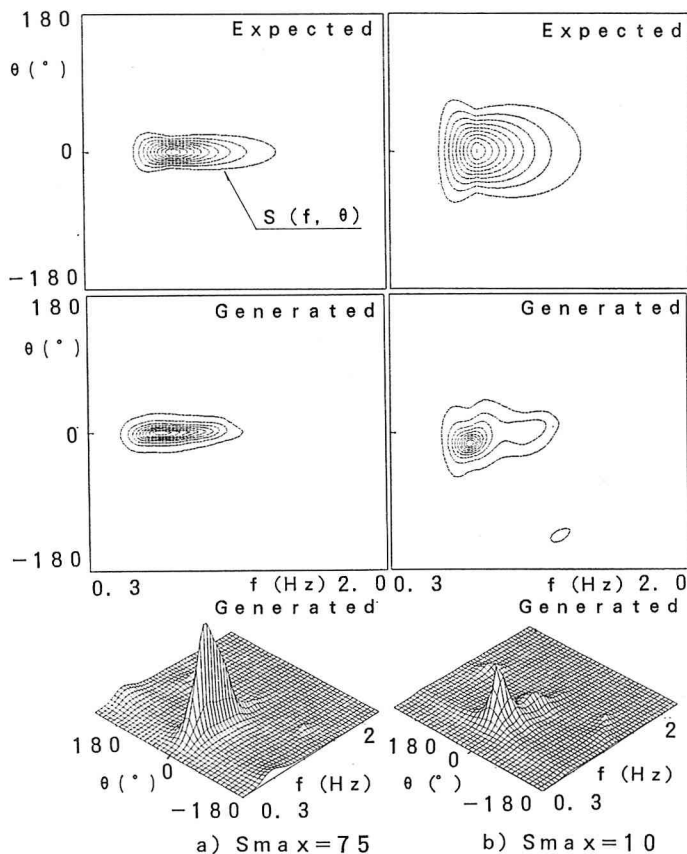


図-6 入射波方向スペクトル

果について示す。図-5 に示す直方向不規則波の入射目標スペクトルと実験結果より、両者は良好な一致を示すことが確認される。つづいて、図-6 に方向集中度が75および10の時の多方向不規則波の入射目標スペクトルと実験結果を示す。なお、方向スペクトルの推定には、磯部ら（1984）により提案された拡張最尤法（EMLM）を使用した。方向分散性が小さい方向集中度 $S_{\max}=75$ （うねり性の波）では、目標と実験結果は良好な一致を示すが、方向分散性が大きな $S_{\max}=10$ （風波）では、特に短周期の領域で実験結果の方向分散性が小さくなり

一致度が低下する傾向となる。これは、入射波の卓越周期が小さいために卓越波長が短く、特に斜め波を造波する時に造波板幅（0.5 m）に比べ波長が小さくなるためである。

没水平板に規則波が作用した時の状況を写真-1に示す。波は写真上方から入射し、浮体型分割式没水平板は写真右側に設置されている。写真より平板を通過した波が集中しているのが確認される。

図-7 に、規則波・直方向波・多方向波が作用した時の平板周辺無次元波高分布を示す。なお、無次元化は各測点で計測された、規則波は平均波高、直方向波・多方向波は1/3有義波高を、それぞれ入射平均波高もしくは入射1/3有義波高で除すことにより求めた。

a) 不規則性の影響：中央の固定型一体式の集波予定位置（ $y=5$ m）における集波性能（波高増幅率）は規則波で2.0倍、直方向波で1.3倍、多方向波で $S_{\max}=75$ で1.0倍、 $S_{\max}=10$ で1.1倍となり、波高・周期・波向きの不規則性の増大に伴い低減する傾向にある。しかしながら、集波領域が不規則性の増大に伴い平板近傍に移行していることより、

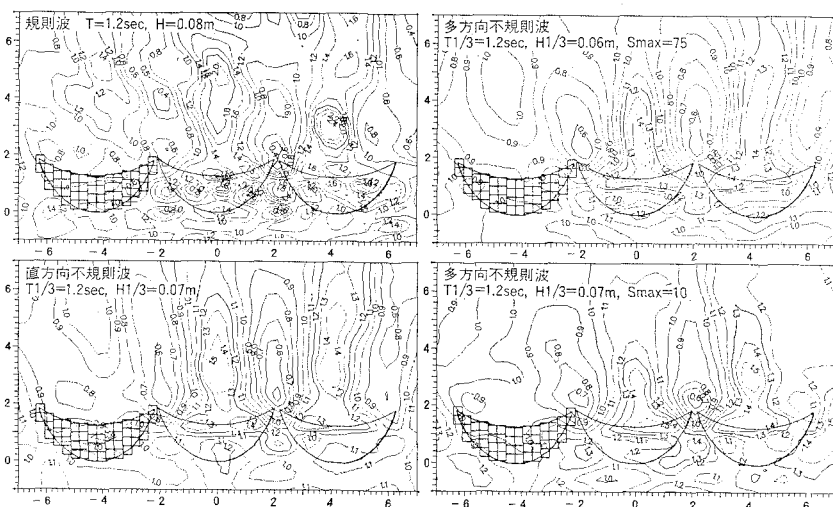
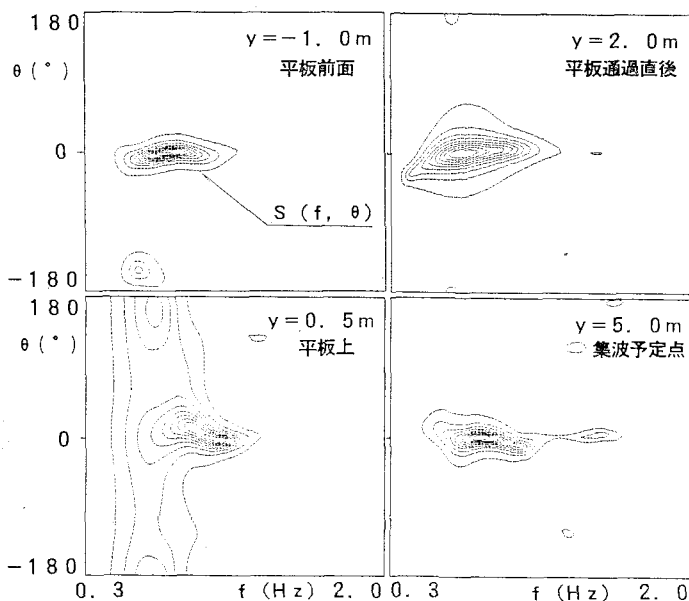


図-7 没水平板周辺波高分布実験結果

図-8 方向スペクトルの場所的変化 ($S_{\max}=75$)

直方向波・多方向波の平板透過側領域中での最大の波高増幅率を考えると、両者とも1.4倍であり、規則波の2.0倍と比べ顕著な低減は生じない結果となる。

b) 浮体型分割式の影響：浮体型分割式は、固定型一体式と比べて集波性能が劣る。これは、浮体動揺により相互に接触し波エネルギーを消費すること、浮体間の隙間から圧力が抜けることにより十分な波向き制御ができない等の理由によるものと考えられる。

c) 複数設置の影響：今井ら(1987)により示された規則波が作用した時の単体の場合の集波性能は2.5倍であったが、複数の場合には、中央の没水平板では2.0倍、右側の没水平板では1.6倍と低下する傾向にある。これ

は、単体の場合、波の屈折および回折の効果で集波するのにに対し、複数の場合には、波進行直角方向に長いために回折効果が低減するためと考える。また、右側没水平板では集波領域が中央側による傾向にある。これは回折波が右側からだけ平板透過側の領域に進入するためと考える。

図-8に $S_{\max}=75$ 、図-9に $S_{\max}=10$ の多方向波が作用した時の、平板周辺における方向スペクトルの場所的变化を示す。平板前面および平板上では、平板沖側および岸側外縁からの反射波の影響が見られる。また、平板通過直後および集波予定点の結果から、平板を通過した波は平板の集波効果により波の進行に伴い方向集中度が増加する傾向にあることがわかる。

図-10に、中央没水平板中心線上の波高とエネルギーフラックス平方根の無次元分布を示す。なお、エネルギーフラックスは今井ら(1987)に示される方法によった。図より、どの波条件においてもエネルギーフラックス分布の方が波高分布よりも概ね小さくなる傾向にある。これは、平板を透過した波が分裂するための影響によるものと考えられる。

4. おわりに

クレセント型没水平板について、水槽実験により波浪の不規則性・複数配置等の波浪変形現象に対する影響の把握を行った。その結果以下に示すことが明らかとなった。

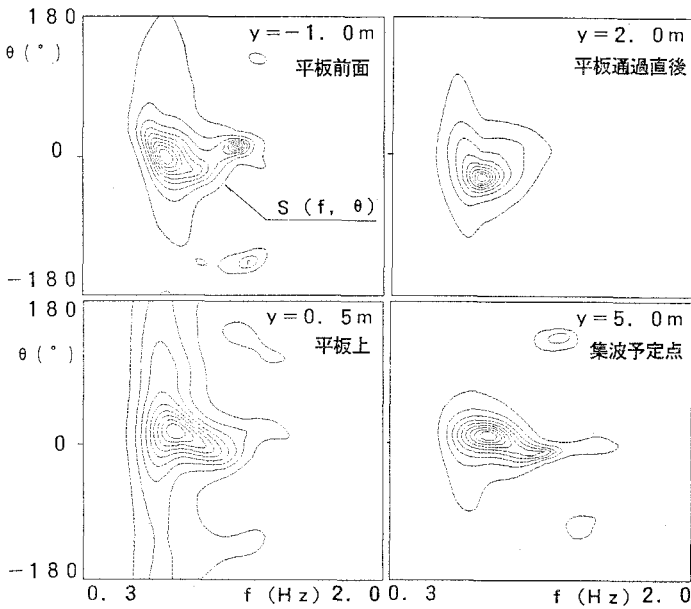


図-9 方向スペクトルの場所的变化 ($S_{max}=10$)

a) 波浪の不規則性の増大により、集波位置は平板近傍になる。また、最大の波高増幅率は波浪の不規則性による影響を余り受けないことがわかった。

b) 大水深の没水平板の新しい設置方法として提案した浮体型分割式（緊張係留）は、想定最大波高が作用した時でもスナッフ荷重が発生せず、構造形式として実現可能であることを明らかにした。しかしながら、集波性能については、固定型一体式没水平板に比べ劣るため、今後何らかの工夫を行う必要があることがわかった。

c) 複数の没水平板を設置した場合、単体設置の場合に比べ集波性能が低減する傾向にあることがわかった。これは、回折影響が低減した影響と考えられる。

最後に、本研究は海洋科学技術センターの「海域域制御技術の研究開発（青いサンゴ礁計画）」の一環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

- 磯部雅彦・近藤浩右・堀川清司 (1984): 方向スペクトルの推定における MLM の拡張, 第 31 回海岸工学講演会論文集, pp. 137-177.
- 今井貫爾・秋山義信・池谷 毅・工藤君明・續 辰之介 (1987): 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.
- 今井貫爾・秋山義信・工藤君明・續 辰之介 (1988): クレセント型没水平板に働く波力特性に関する研究, 第 35 回海岸工学講演会論文集, pp. 522-526.
- 今井貫爾・秋山義信・工藤君明・續 辰之介 (1989): クレセント型没水平板を利用した波エネルギー吸収システム, 第 36 回海岸工学講演会論文集, pp. 534-538.
- Darlymple, R. A. (1989): Directional wavemaker theory with sidewall reflection, Journal of Hydraulic Research, Vol. 27, No. 1, pp. 23-34.

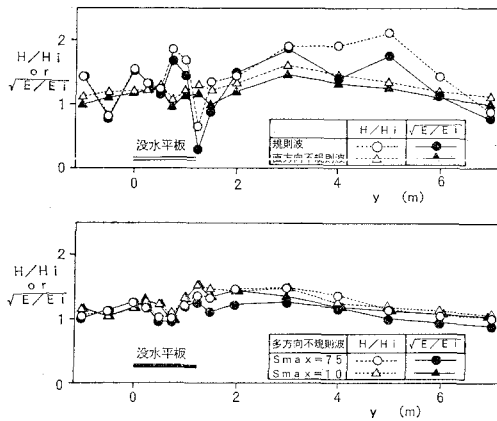


図-10 平板中心線上のエネルギーフラックスと波高分布