

第二期「海明」模型による水槽試験報告

宮崎武晃*¹ 堀田 平*¹ 鷲尾幸久*¹

第二期「海明」の海上試験が昭和60年9月より翌年3月まで山形県鶴岡市由良沖において行われるが、それに先だち、その期間の出力の予測および出力向上法の検討などのための資料を得るため、1/20模型を用いた水槽試験を行った。試験は規則波および不規則波において4種のノズル状態のもとで行われた。また、2つの空気室において空気流位相制御が行われ、その効果が調べられた。

その結果、「海明」の動揺、相対波高、空気出力などの特性が明らかになり、また、実海域の不規則波浪中における空気出力予測を行うことができるようになった。また、空気流位相制御によって、長周期の波浪中において、各空気室の空気出力は約2～3倍になることが判明した。

本報では、これらの概要について報告し、実海域海上試験における出力等の予測のための資料とする。

A Report on the Test of the 2nd Phase "KAIMEI" Model in a Wave Tank

Takeaki Miyazaki*², Hitoshi Hotta*², Yukihiisa Washio*²

The 2nd phase test of "KAIMEI" has been conducted from September 1985 and shall continue to March 1986 at the offing of Yura. Prior to this test, in order to estimate output power and investigate the method of increases absorbed power, the authors performed a model test in a wave tank. This model was 1/20 the scale of the actual unit and the test was carried out under conditions of regular and irregular waves. Also, a test on the phase control was carried out. As the results of this test, characteristics of oscillation, relative wave height and output air power were clarified. And estimating the output power of the actual full-scale unit has become possible. Furthermore, it was confirmed that air output power increased as a result of the phase control on "KAIMEI" under a long-wave period condition.

*¹ 海洋開発研究部

*² Marine Research and Development Department

1. はじめに

海洋科学技術センターでは、従来より、波のエネルギーを利用して発電を行う波力発電装置について、振動水柱型の浮体式装置である「海明」を用いて研究開発を行ってきた¹⁾。その結果、この方式の波力発電システムの実用化へ向けての可能性と安全性ならびに耐久性が確認された。しかし波エネルギー変換効率、発電コストについては問題を残しており、これらの改善のために幾つかの方法が提案され、研究が進められている。その研究としては、要素研究として、空気タービンの改良、空気流位相制御の開発²⁾および出力の集約化などがあり、また全体出力向上のための最適浮体形状および空気室配置の研究³⁾がある。

それらの研究成果を用いて船上装置等を改良し、第二期「海明」試験として、昭和60年9月より昭和61年3月までの間、第一期「海明」試験と同じ山形県鶴岡市由良沖約3kmの海域において、実海域試験が行われている。この試験により、装置の改良による出力の向上を確認し、また最適な浮体形状および配列についての各種データを得ることにより、実用化に適した波力発電装置の設計資料を作成する予定である。

それに先だち、実海域試験における出力を予測し、より効率的なデータの収集および解析を行うため、また空気流位相制御装置の制御方法について知見を得るため、第二期「海明」模型を用いた水槽実験を行った。

本報では、それによって得られた結果のうち、主に規則波中試験結果について報告し、実海域試験によって得られるデータとの照合のための資料とする。

2. 試験概要

2.1 第二期「海明」模型

第二期「海明」は第一期「海明」と比べ、船体すなわち空気室については改修が行われなかったが、空気タービンおよび空気流位相制御位置のような船上装置については大幅に変更された。第一期「海明」および第二期「海明」のそれぞれの外観を写真1および写真2に示す。船上装置の相違は、各空気室内振動水柱の入射波に対する応答である上下運動特性に寄与する負荷の相違として現

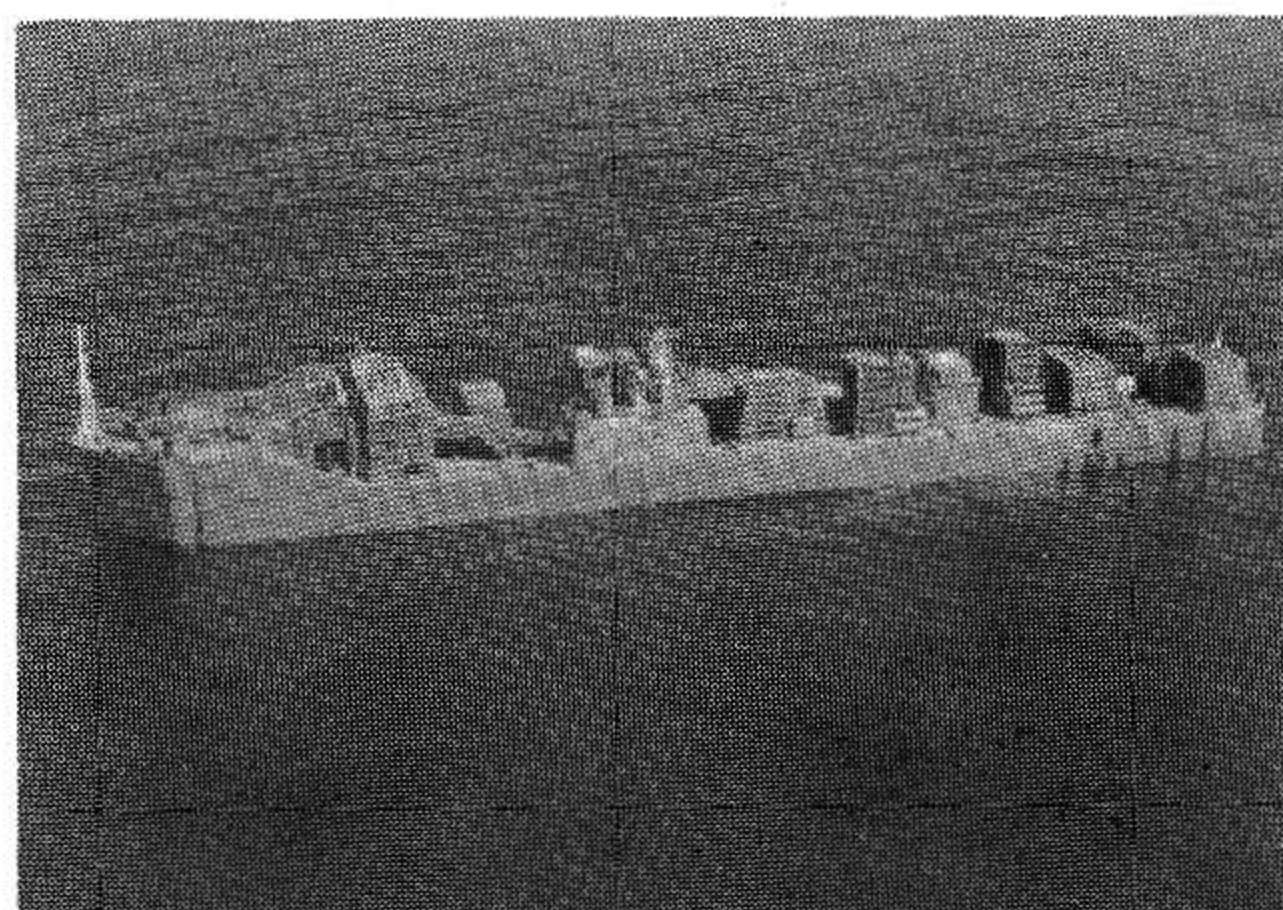


写真1 第1期「海明」
“Kaimei” during 1st phase test



写真2 第2期「海明」
“Kaimei” during 2nd phase test

われ、したがって波エネルギー吸収特性に影響を与えることになる。

第二期「海明」模型は、船体については実機の1/20のアルミ製であり、一方、船上の負荷装置としては実機の各装置に対応するノズルを設けた。

船体の概略図を図1に、諸元を表1に、模型の外観を写真3および4に示す。

ノズル条件としては、第二期「海明」に相当するものを含め、4条件について試験を行った。このノズル条件を表2に示す。

空気流位相制御は、5NPおよび12SPの空気室(図1参照)に取り付けられた写真5に示すスライド弁によって行われた。スライド弁はエアシリンダーによって作動し、その作動時間は全開から全閉および全閉から全開までおよそ0.1秒である。

2.2 係留

模型の係留は、図2に示すように、船首、船尾

表1 模型諸元

Principal Particular of the Model

全長 L : 4.00 m

幅 B : 0.60 m

高さ D : 0.25 m

喫水 d : 0.11 m *

重量 : 92 kg

(うちウェイトおよび位相制御弁: 37 kg)

* even keel としてある。

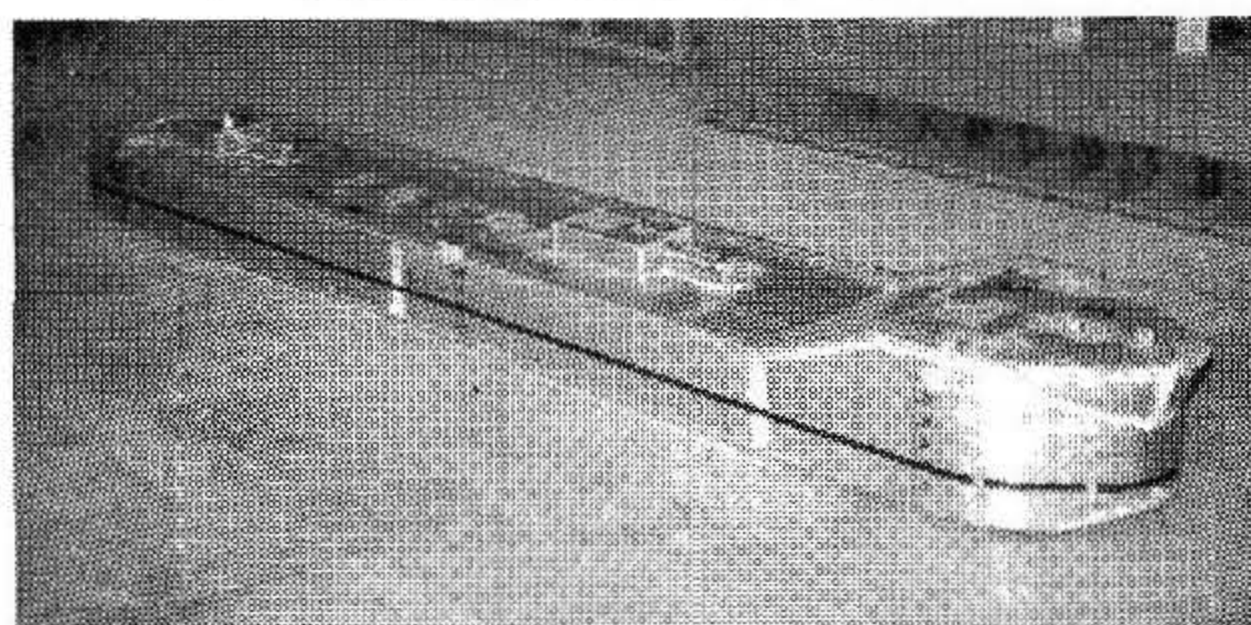


写真3 1/20「海明」模型
Kaimei 1/20 model

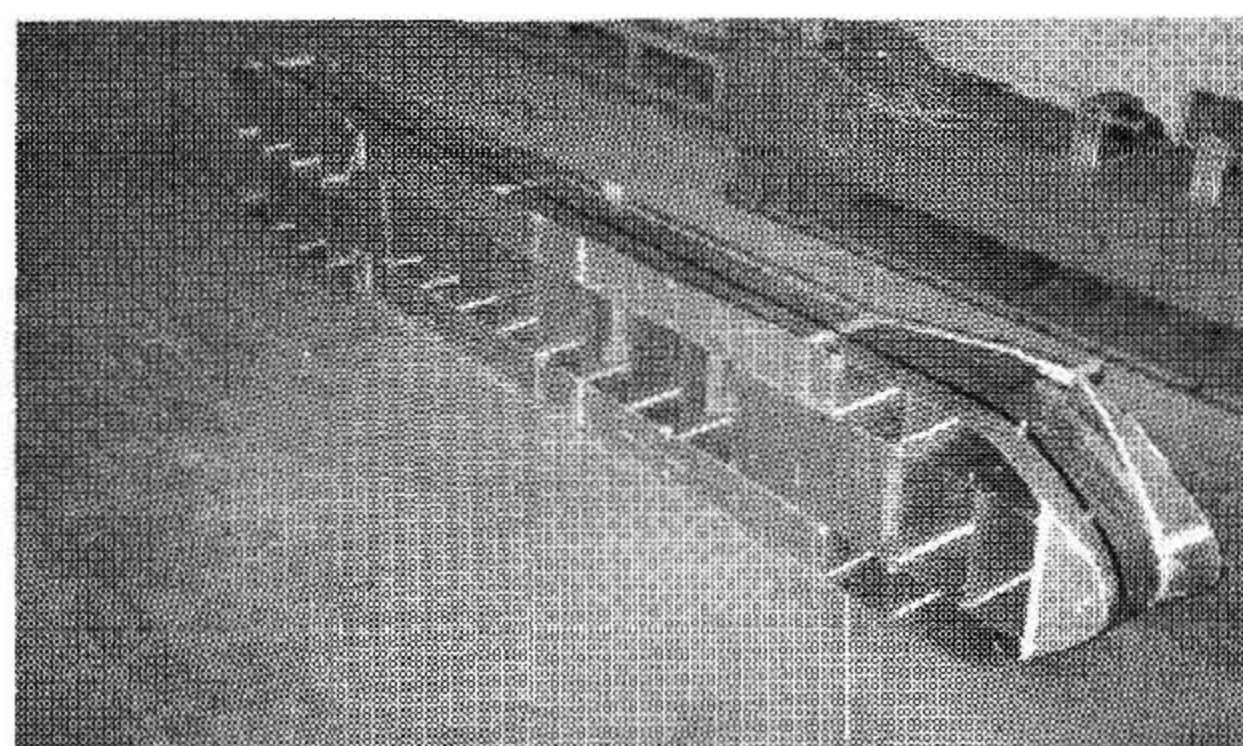


写真4 模型底面
Bottom of the model

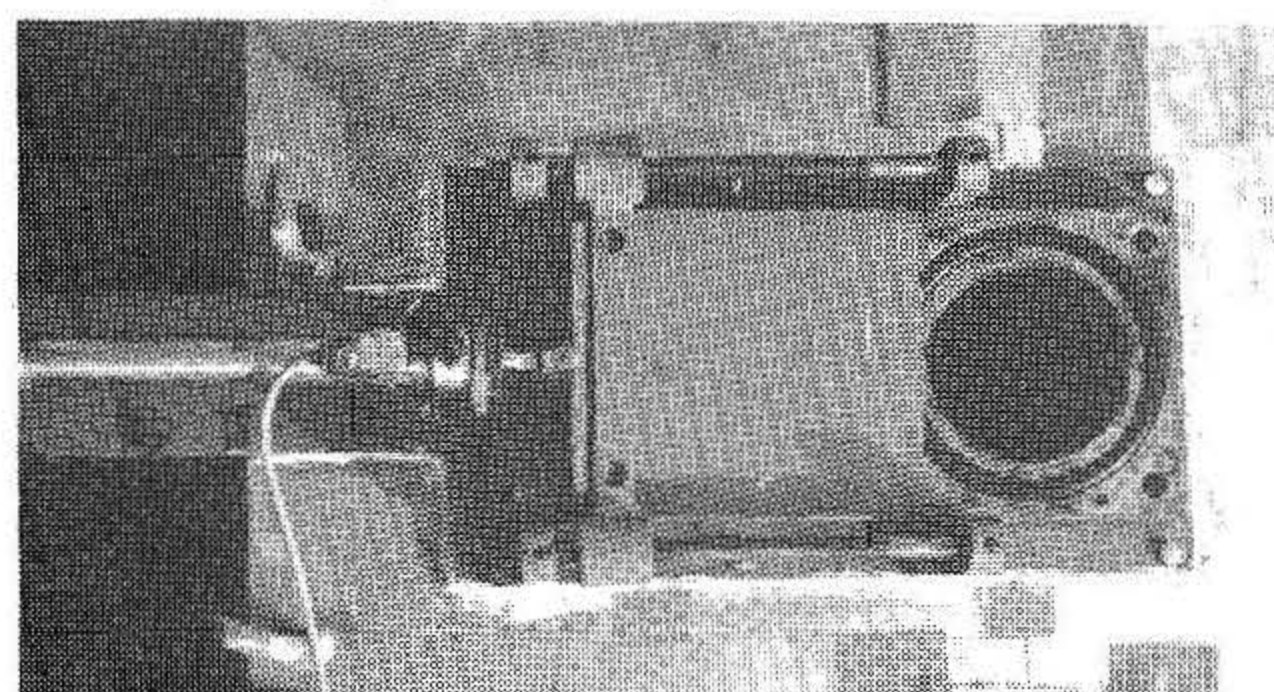
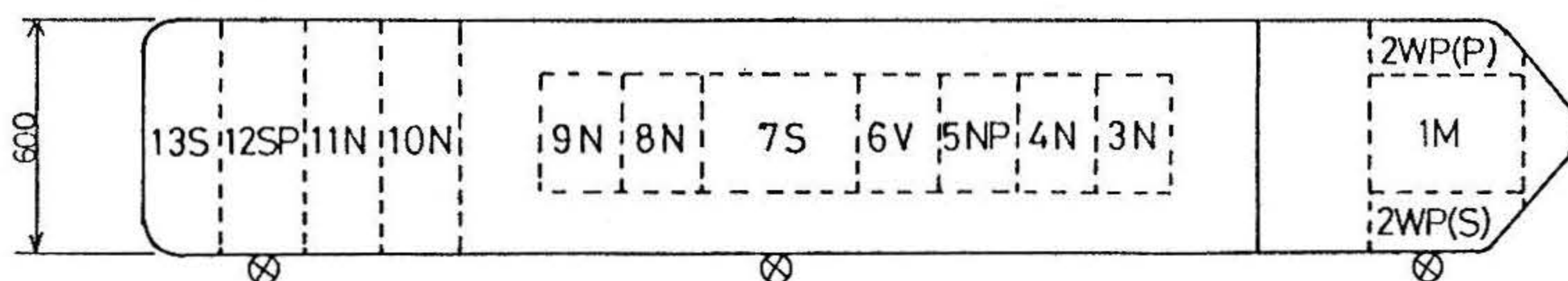
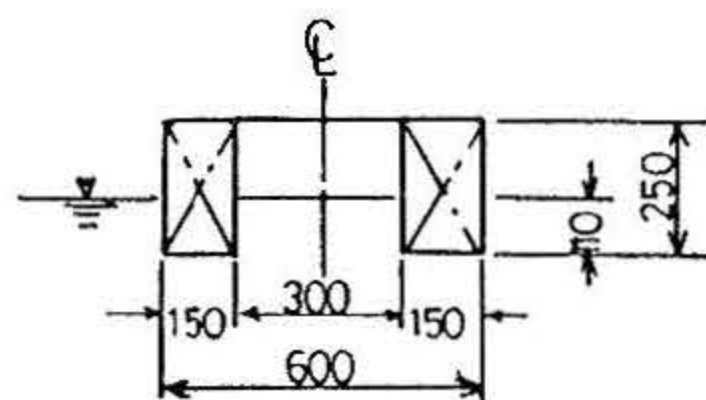


写真5 空気流位相制御用スライド弁
Slide valve for the phase control



⊗: wave detector



unit: mm

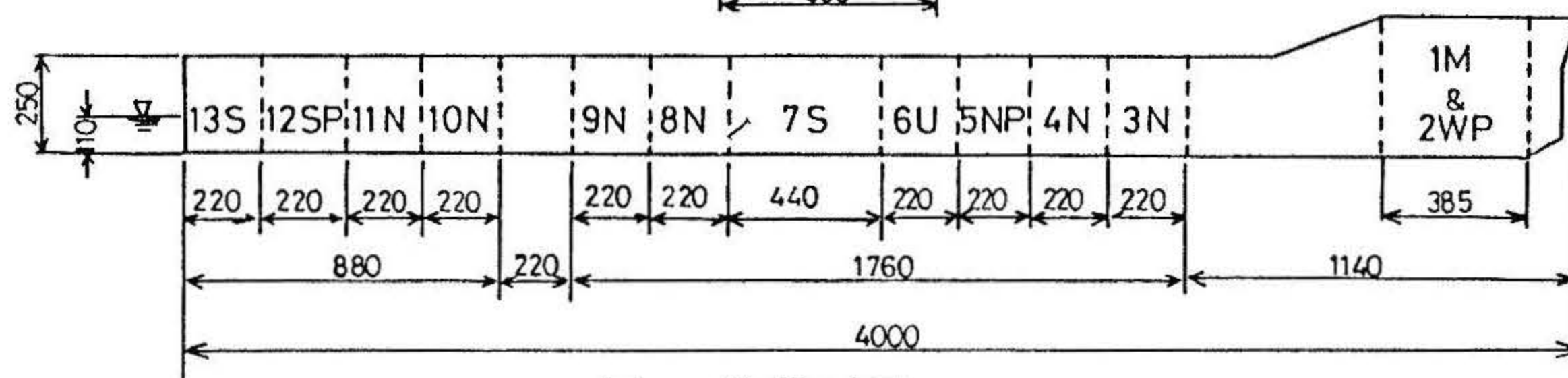


図1 模型概略図

Scheme of the model

表2 ノズル状態
Nozzle Condition

空気室番号	空気室面積 cm ²	A		B	C	D
		ノズル面積cm ²	ノズル比	ノズル面積cm ²	ノズル面積cm ²	ノズル面積cm ²
1 M	1 175	9.0	1/131	15.2	10.2	19.6
2 WP*	1 050	7.2	1/146	13.2	9.5	18.2
3 N	650	4.1	1/157	8.6	5.7	10.8
4 N	650	4.1	1/157	8.6	5.7	10.8
5 NP	650	4.1	1/157	8.6	5.7	10.8
6 U	650	32.5	1/20	8.6	5.7	10.8
7 S	1 300	8.9	1/146	16.6	11.3	22.1
8 N	650	4.1	1/157	8.6	5.7	10.8
9 N	650	4.1	1/157	8.6	5.7	10.8
10 N	1 300	8.9	1/146	8.6	5.7	10.8
11 N	1 300	4.1	1/292	8.6	5.7	10.8
12 SP	1 300	8.9	1/146	16.6	11.3	22.1
13 S	1 300	8.9	1/146	16.6	11.3	22.1
備考		第二期「海明」相当		ノズル比 1/78	ノズル比 1/117	ノズル比 1/59

※ 2WPは左右の空気室(P)および(S)を合わせて取扱う。

から船体中心線上のそれぞれ1本ずつの係留鎖により係留された。使用した係留鎖は両方ともに単位長さ当り重量0.86kg/m、長さ11.4 mである。係留鎖の端末は10kgのウェイトをのせた重さ約15kgの鉄板につながれており、そこから船体取付点までの静止状態の形状は図2中に示すようになっている。なお、船体静止時の係留鎖初期張力は、係留ライン方向（水平方向張力と垂直方向張力の合力）に約2.3 kgであった。

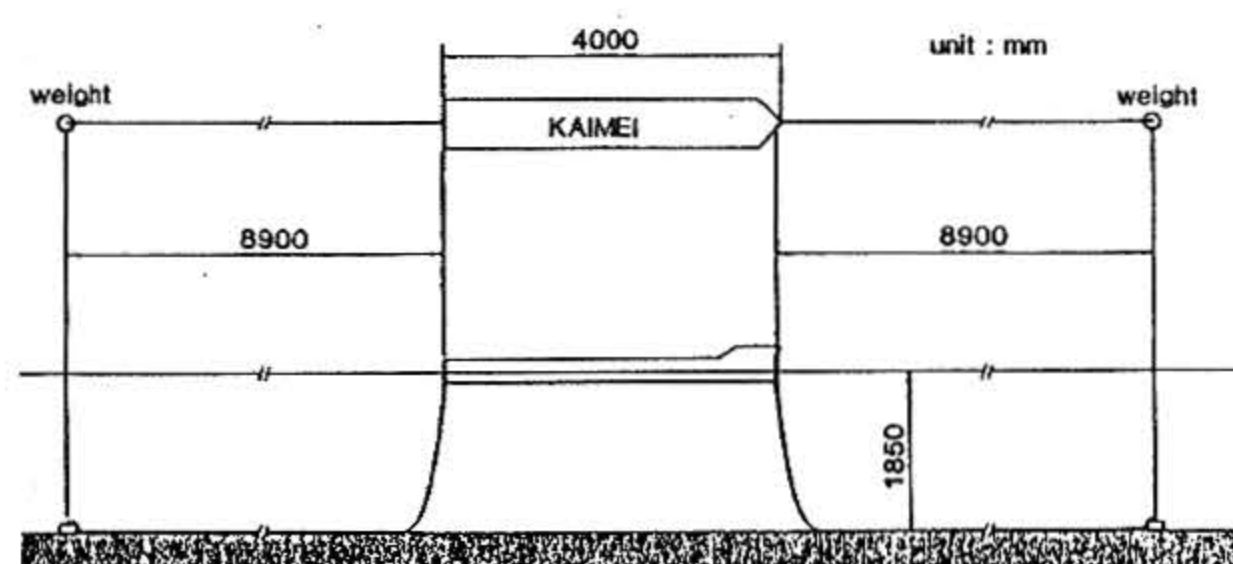


図2 模型係留状態
Mooring condition of the model

2.3 計 測

計測は、入射波、船体運動 (heaving, pitching, surging), 1 Mから13 Sまでの13の空気室の空気室圧力, 図1中⊗印にて示される位置における相対波高および係留力対波高および係留力である。

入射波は模型の側方かつ前方の水槽壁近くに設けられたサーボ式波高計および模型中央から側方約2 mの位置に固定された容量式波高計によって, また, 船体各部における相対波高は模型の右舷側面の船首, 中央, 船尾にそれぞれ固定された容量式波高計によって計測された。

空気室内圧力は, 各空気室の甲板に取り付けられた空気圧力孔からビニールチューブにてダイヤフラム式圧力計につなぎ, この出力として計測された。

一方, 船体運動はポテンションメータ方式の運動計測装置を用いてジンバル部を船体中央に取り付けて, また係留力は船首側係留鎖の模型側取り付け点にリングゲージを入れ, これらの出力として計測された。

2.4 水槽および波浪

実験を行った水槽は, 運輸省船舶技術研究所の海洋構造物試験水槽 (長さ40 m, 幅28 m, フラップ式造波装置, ビーチ式可動消波装置) である。造波波高の関係から水深は1.85 mとし, 水槽のほぼ中央に, 波進行方向に船体長手方向を一致させ船首を波上側にして, すなわち向い波(head sea)状態で係留して実験を行った。

造波した波浪としては, 波周期0.8~3秒, 波高最大約17 cmの規則波, ならびにISSCスペクトラムおよび第一期「海明」実験時に得られたスペクトラムを用いて, 約10種類の不規則波を造波した。

3. 試 験 結 果

3.1 規則波中試験

3.1.1 動 揺 特 性

第二期「海明」の負荷状態であるノズル条件Aのときの「海明」模型の規則波波浪中における動揺特性 (heaving および pitching) を図3および図4に示す。図中に使われている記号を以下に示す。

T_w ; 入射波周期

λ ; 波長

L ; 模型長さ

ζ_a ; 入射波振幅

z_a ; heaving 振幅

θ_a ; pitching 振幅

k ; 波数

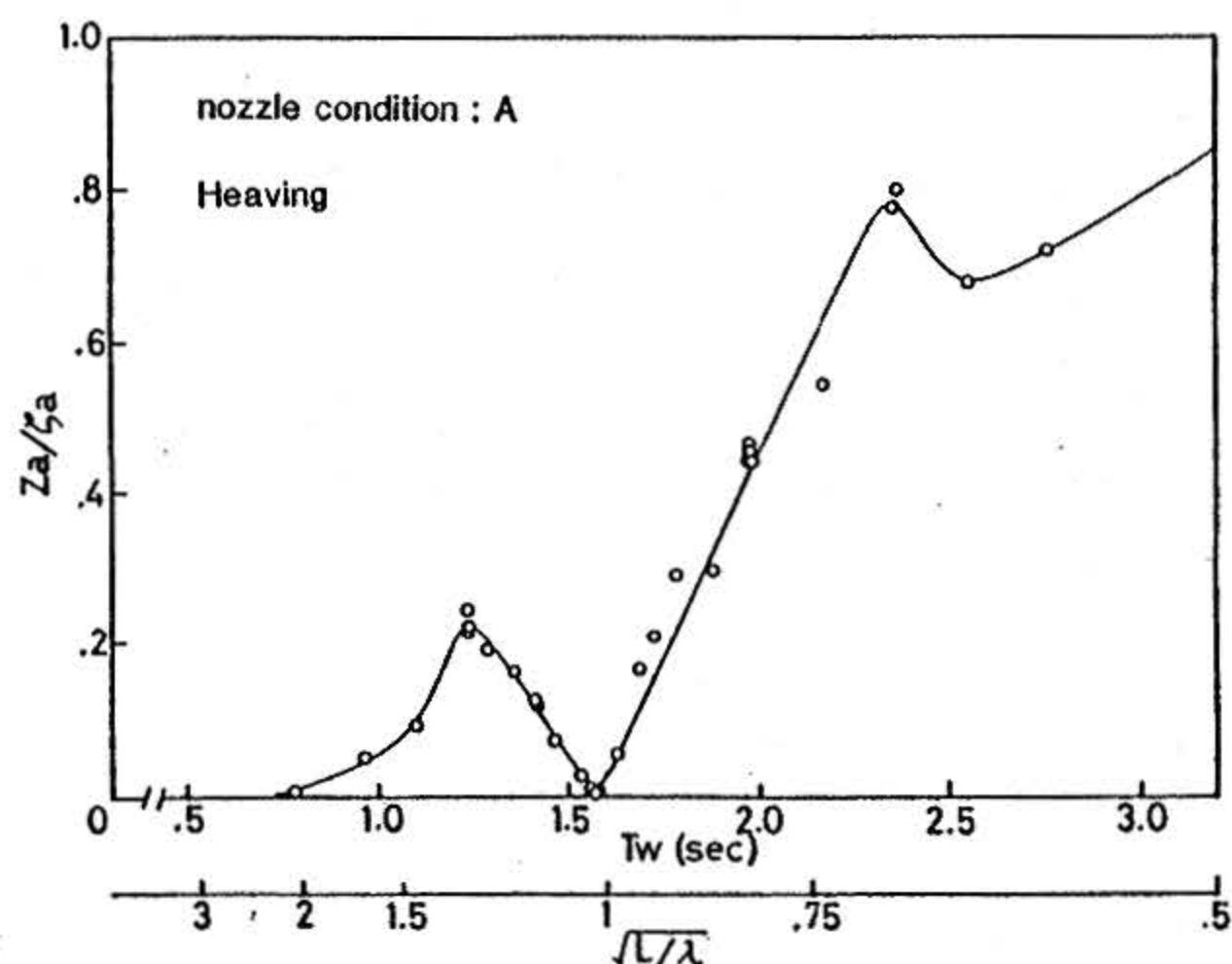


図3 上下揺れ特性

Characteristics of heaving

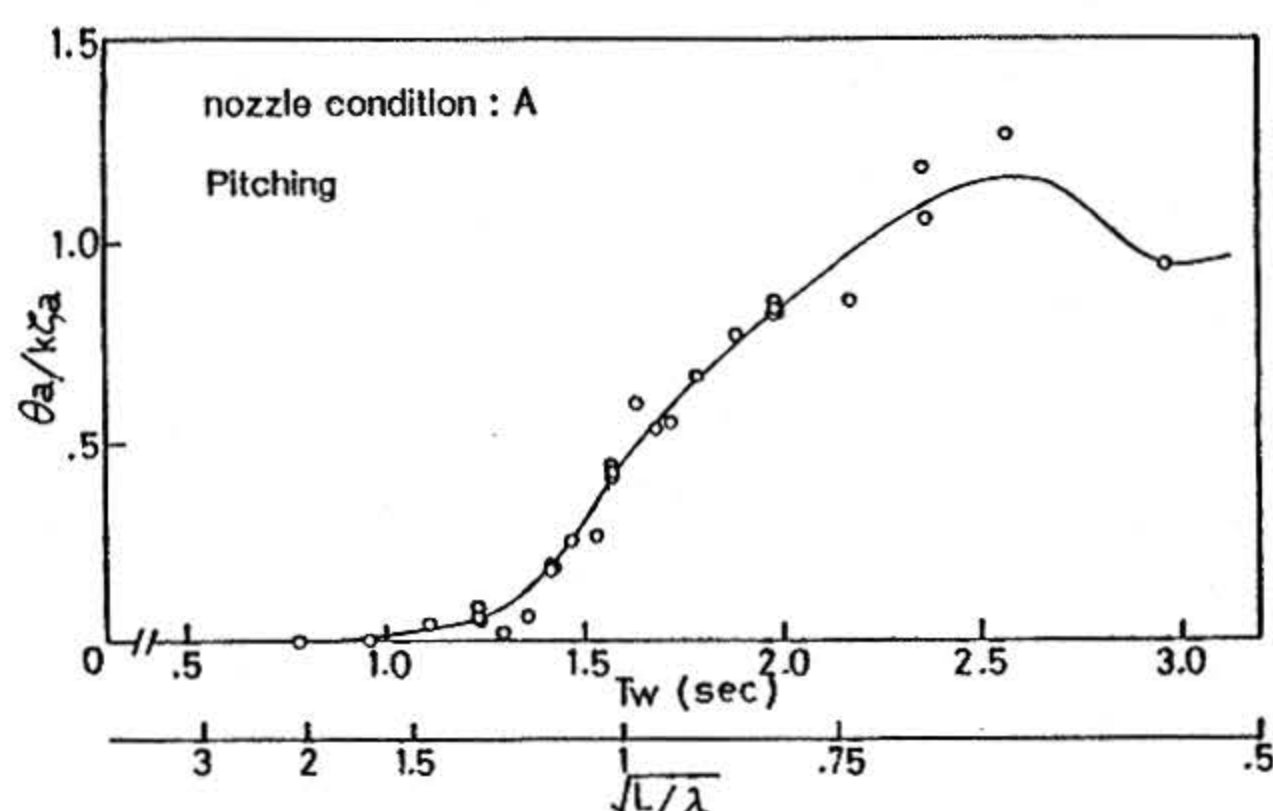


図4 縦揺れ特性

Characteristics of pitching

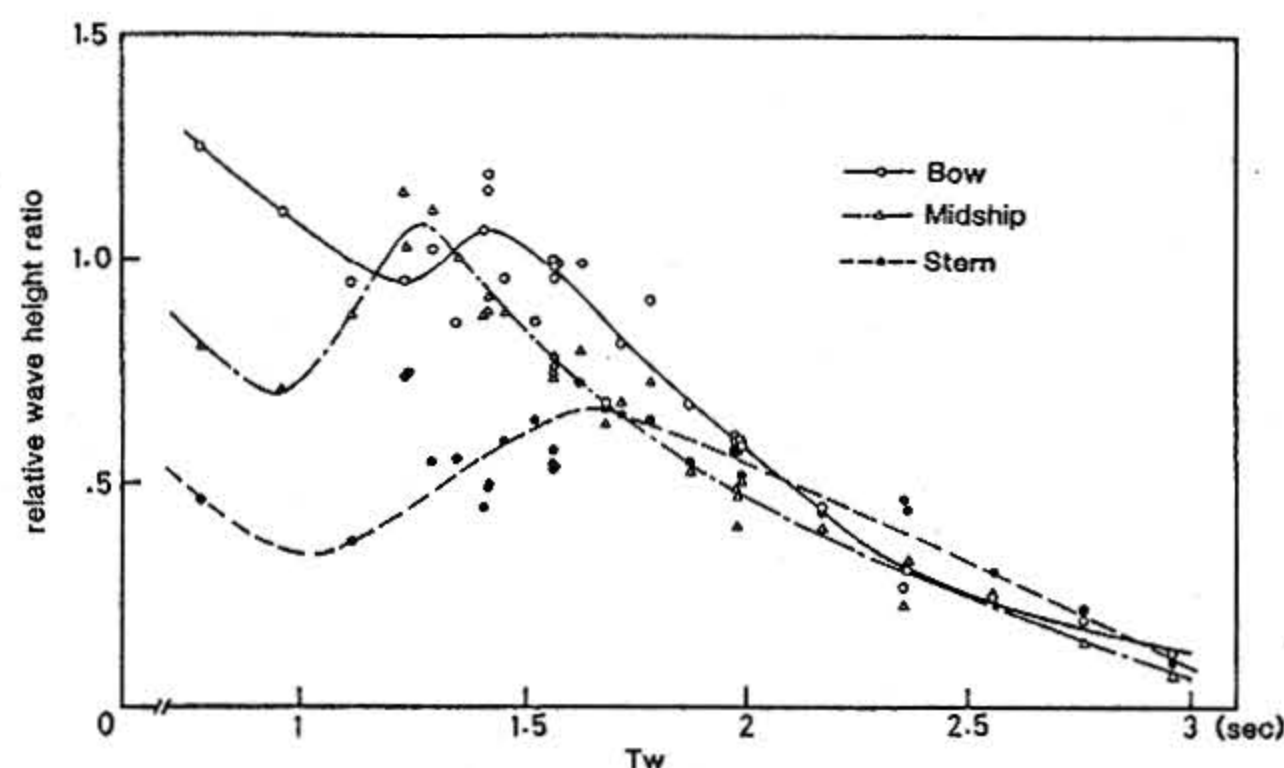


図5 相対波高特性

Characteristics of the relative wave height

3.1.2 相対波高比特性

船首, 船体中央, 船尾部における相対波高の入射波に対する波高比, すなわち相対波高比の波周期に対する特性を図5に示す。なお図中の α は各位置における相対波浪振幅である。

3.1.3 空気出力特性

(1) 空気出力分布特性

各波周期に対する「海明」模型中の13の空気室における空気出力分布について, ノズル条件A～

Dまでを図6～図9に示す。なお, 図中の縦軸の Absorbed Length Ratio (波エネルギー吸収長さ比) は, 「海明」長さと同じ幅の波の持つエネルギーに対する各空気室の空気出力の比である。

(2) 総合空気出力効率

「海明」模型全体, すなわち13の空気室の合計の空気出力の「海明」長さと同じ幅の波の持つエネルギーの比について, 各ノズル条件下での特性を図10に示す。

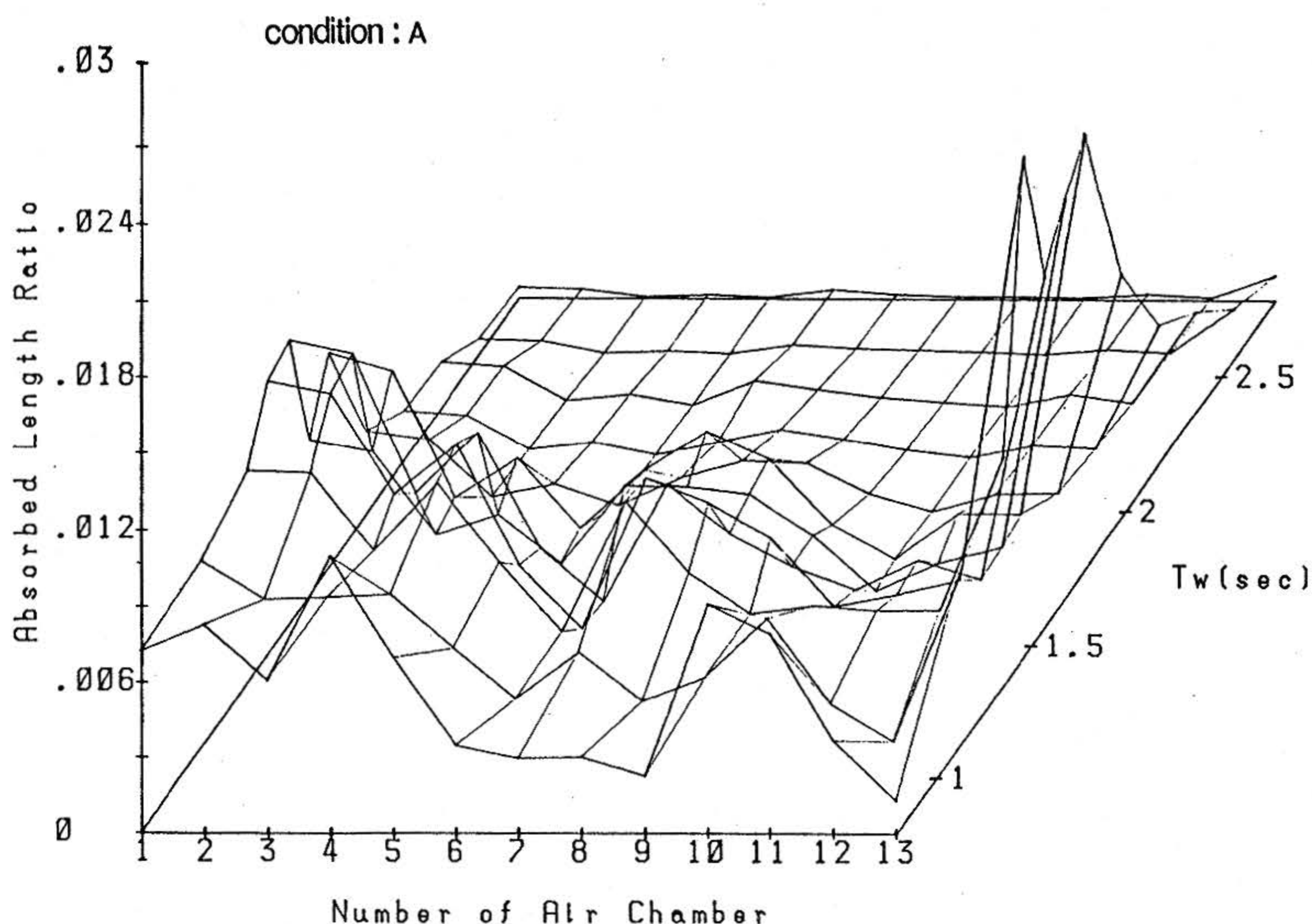


図6 規則波中空気出力(1)

Air output power in the regular waves (1)

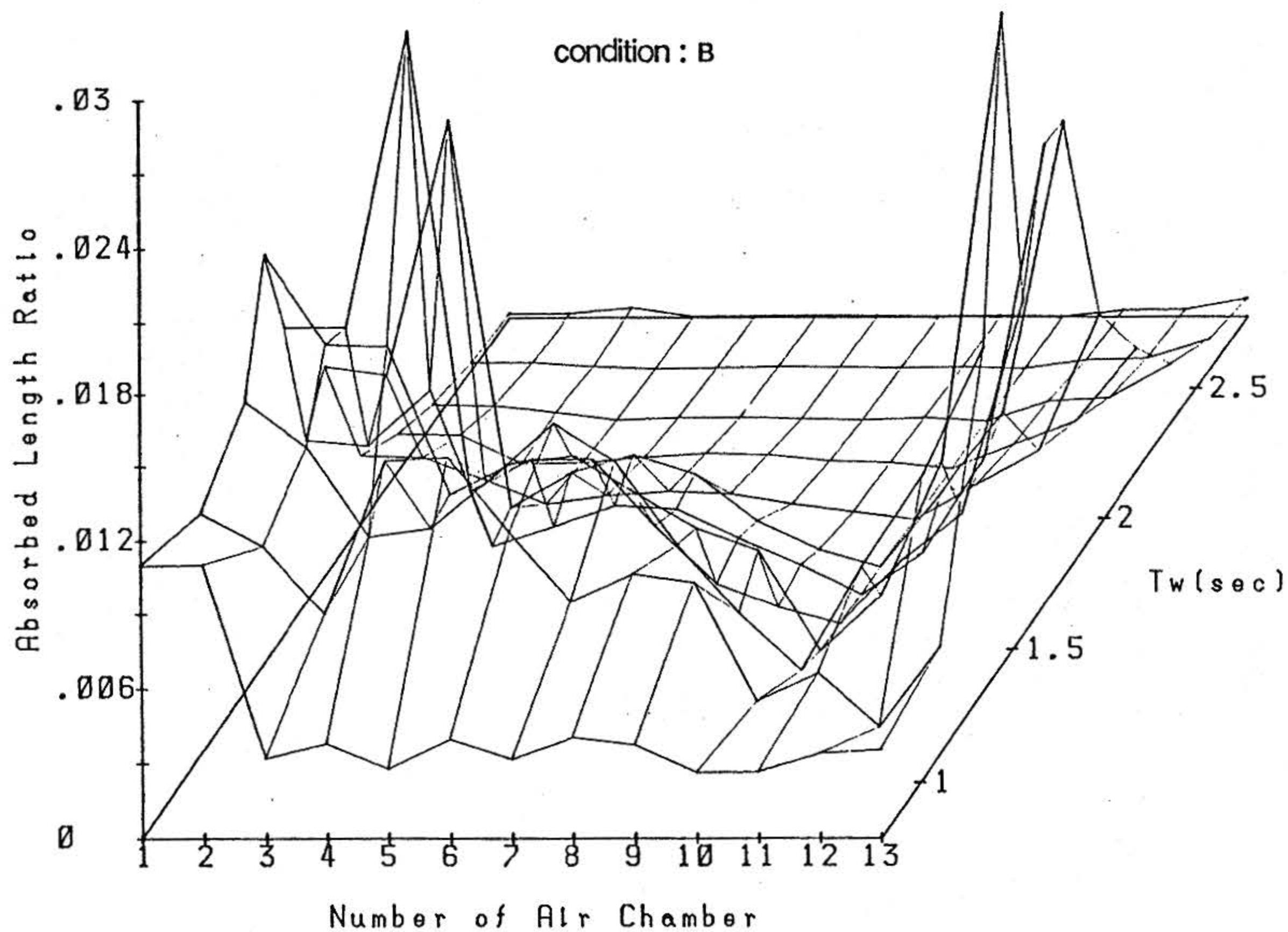


図7 規則波中空気出力(2)

Air output power in the regular waves (2)

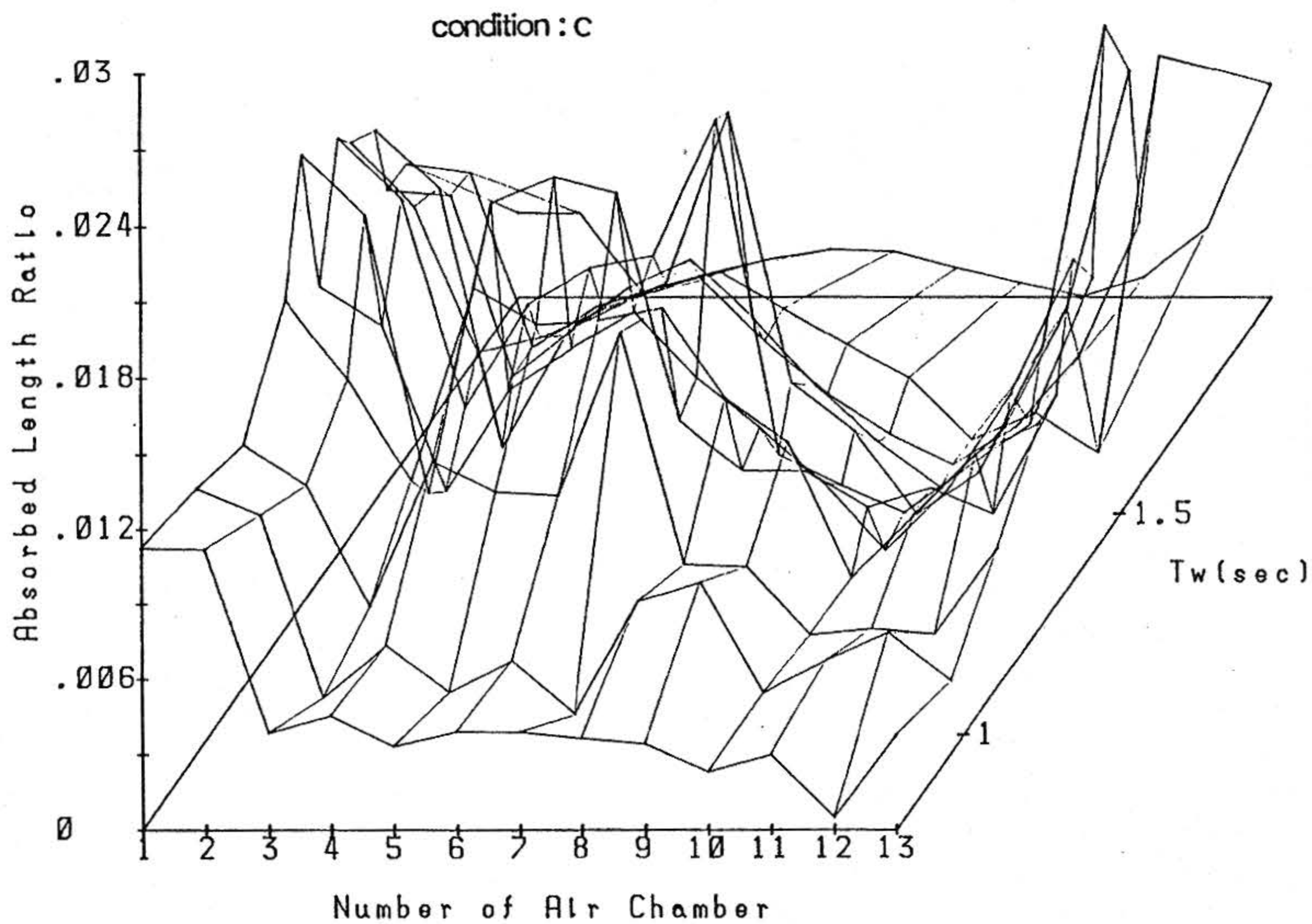


図8 規則波中空気出力(3)

Air output power in the regular waves (3)

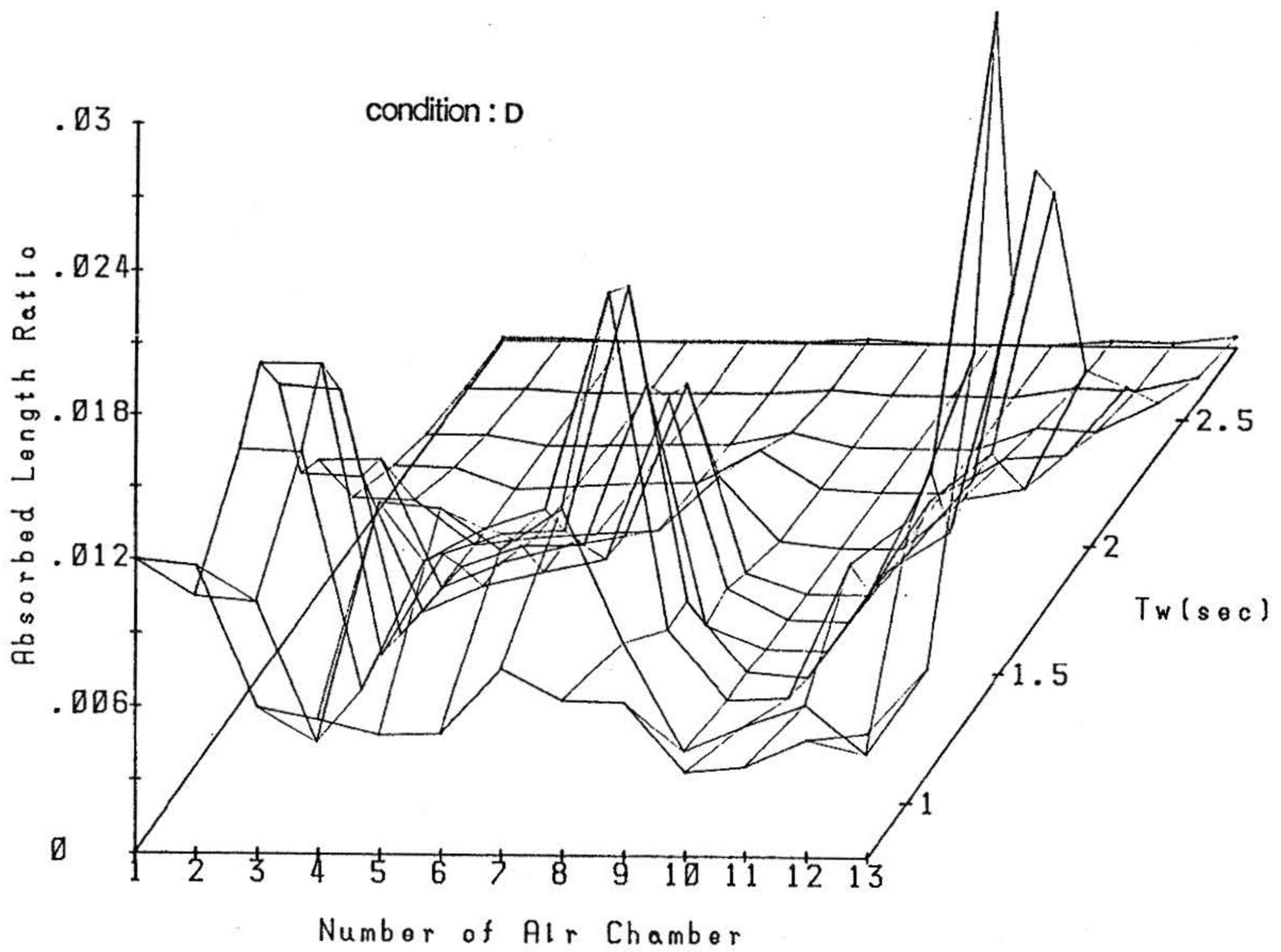


図9 規則波中空気出力(4)

Air output power in the regular waves (4)

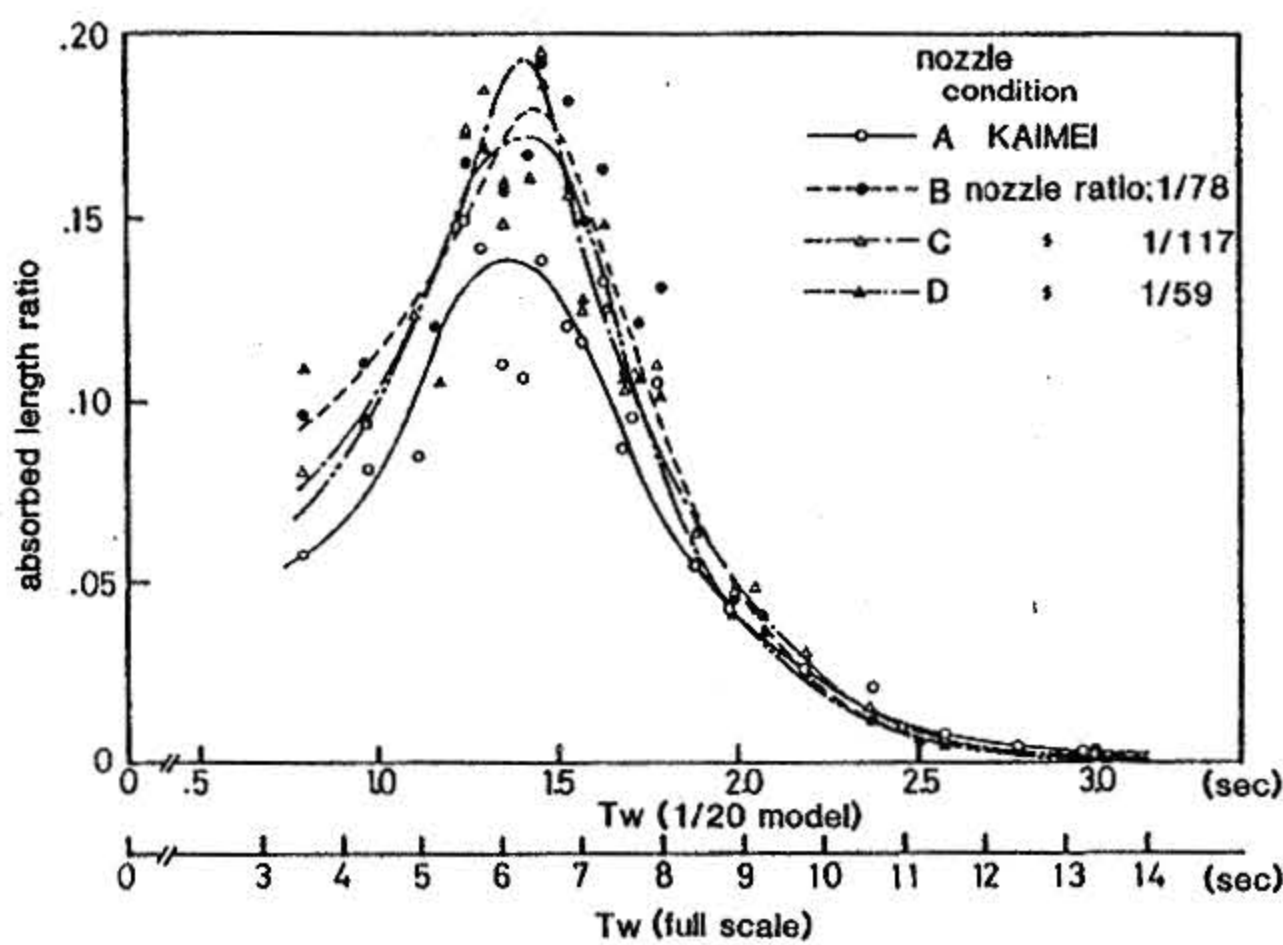


図10 規則波中総合空気出力効率

Total efficiency of air power
in the regular waves

3.1.4 空気流位相制御

5NPおよび12SPの空気室において行った空気流位相制御による効果を図11および図12に示す。図中の η はAbsorbed Length Ratio (波エネルギー吸収長比)である。

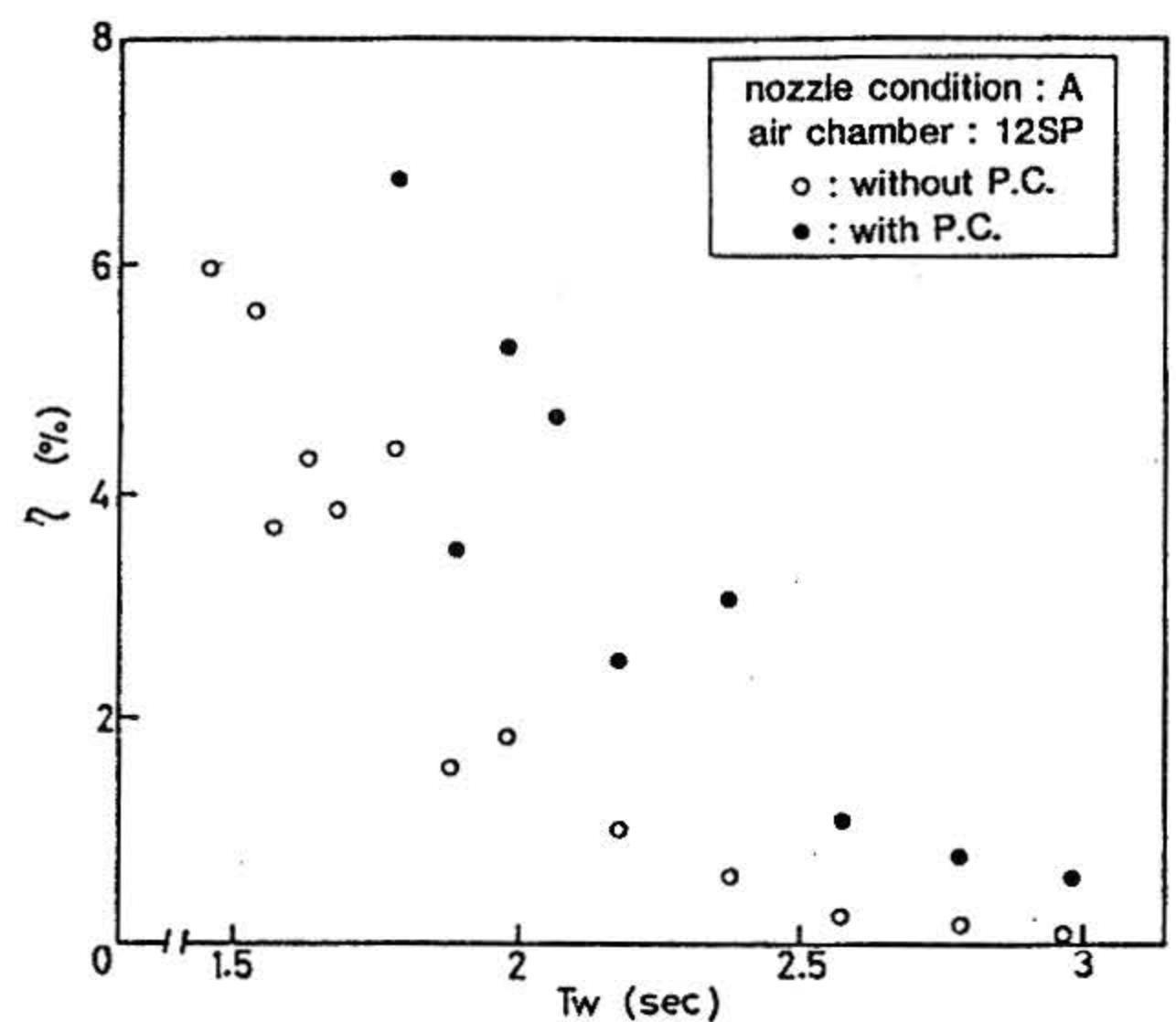


図11 規則波中における空気流位相制御の効果(1)

Effect by the phase control in the
regular waves (1)

なお、本試験においては、空気流位相制御が最適な状態で操作されておらず、したがって、ここ

に示す値も最適値とはなっていないことを付記しておく。

3.2 不規則波中試験

3.2.1 動揺特性

計測結果の一例として、図13に示すパワースペクトラムを呈する入射波に対する動揺 (heaving

およびpitching)の応答のスペクトラムを図14および図15に示す。図中の横軸の ω は波周波数である。

3.2.2 空気出力特性

5種類の不規則波に対する各空気室の平均空気出力および総合空気出力を表3に示す。

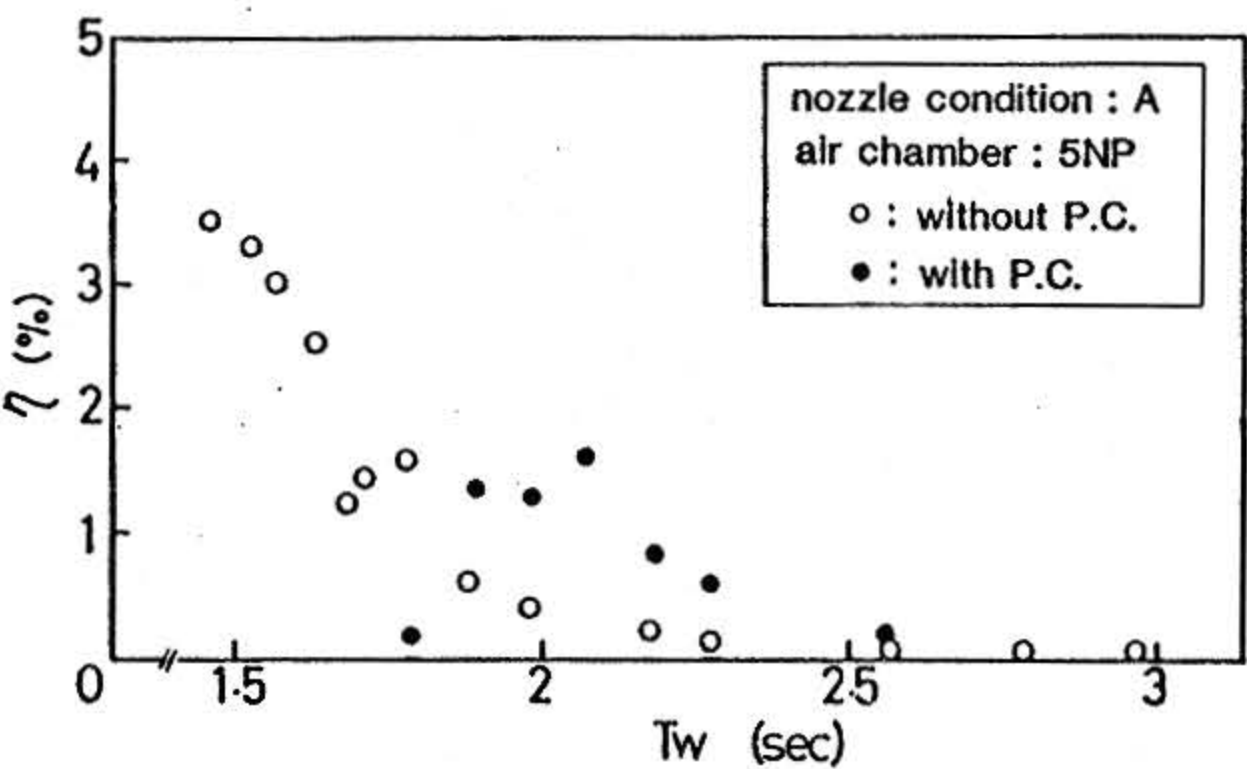


図12 規則波中における空気流位相制御の効果(2)
Effect by the phase control in the regular waves (2)

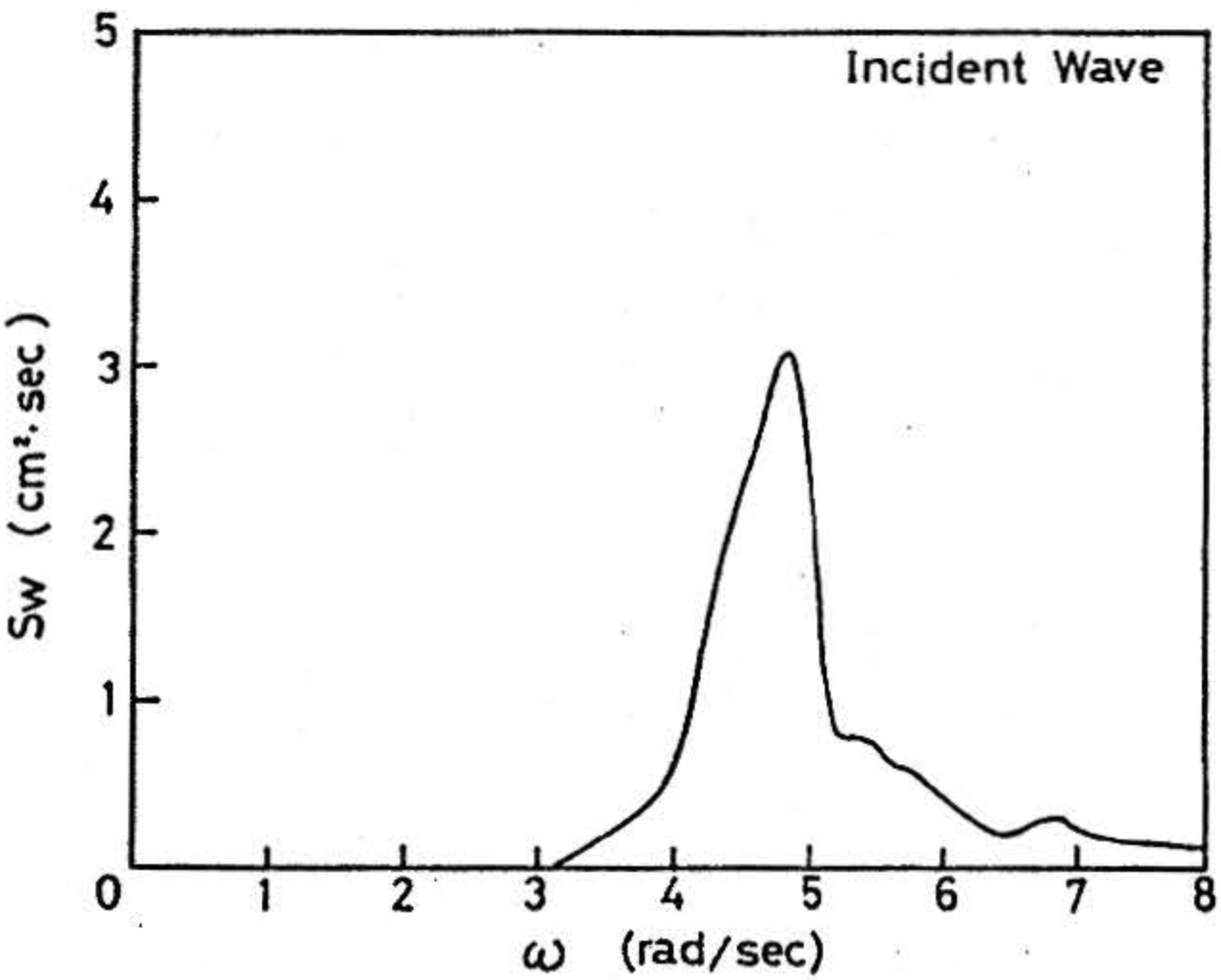


図13 入射波のパワースペクトラム
Power spectrum of the incident waves

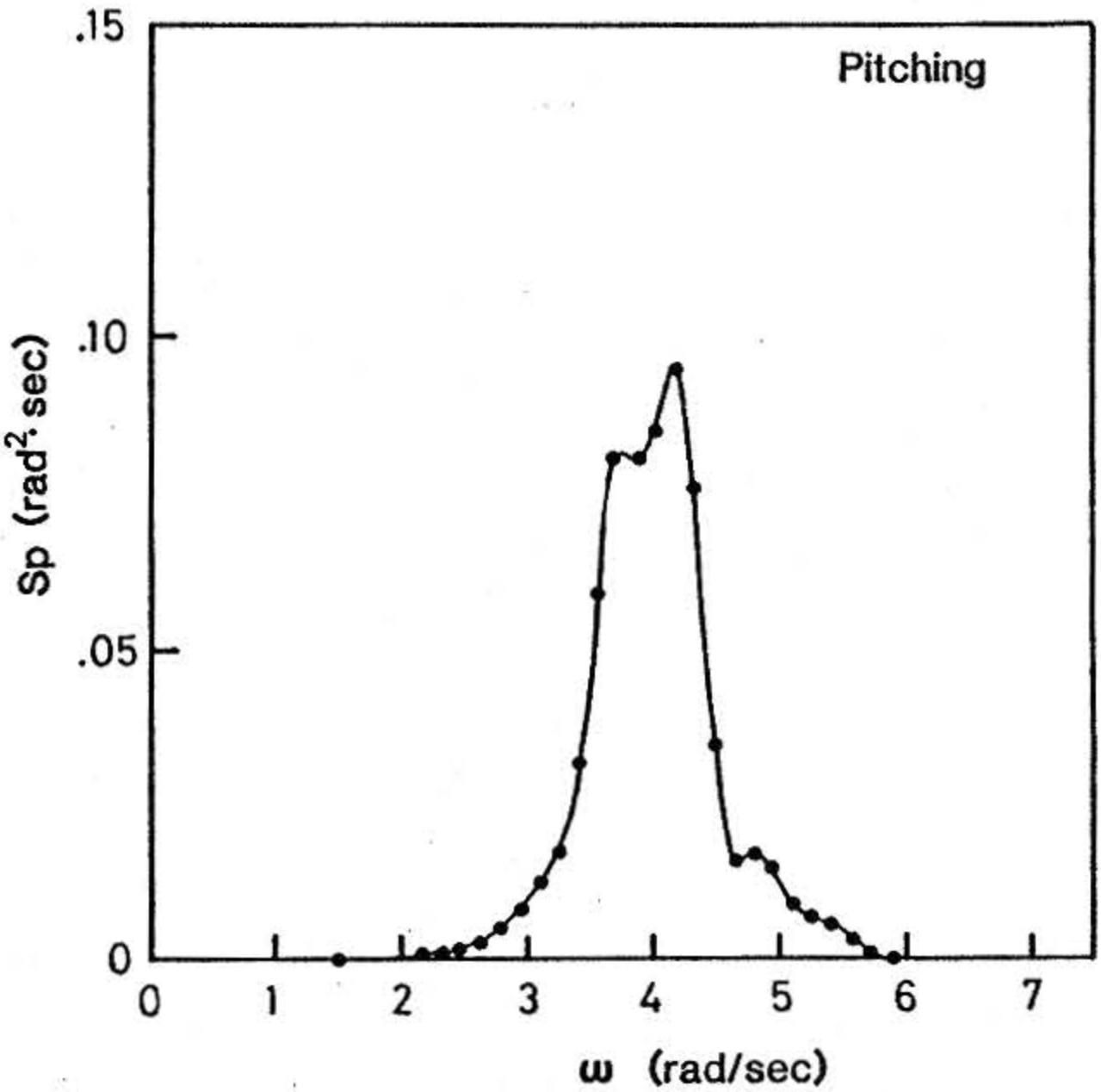


図14 不規則波中上下揺れ応答スペクトラム
Spectrum of heaving in the irregular waves

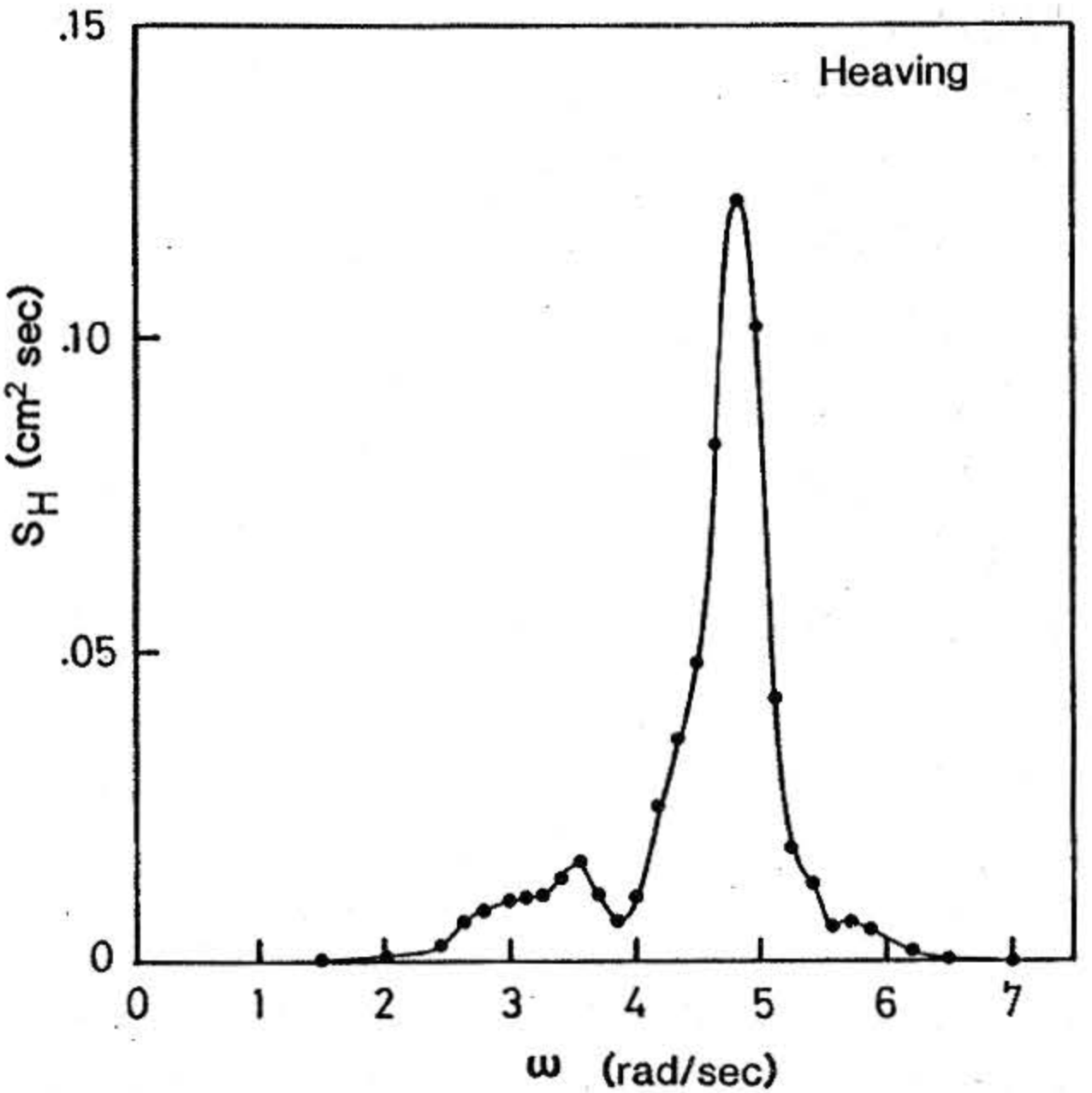


図15 不規則波中縦揺れ応答スペクトラム
Spectrum of pitching in the irregular waves

表3 不規則波中空気出力

Air Output Power in the Irregular Waves

入射波			平均空気出力 (watt)														空気出力
H _{1/3}	T _{mean}	E _w	1M	2W	3N	4N	5NP	6U	7S	8N	9N	10N	11N	12SP	13S	総合	効率 7
cm	sec	watt															%
7.1	2.25	20.0	.16	.15	.01	.04	.02	.02	.04	.03	.02	.02	.06	.04	.34	.95	4.8
7.9	1.62	17.8	.30	.28	.02	.09	.04	.03	.18	.07	.05	.05	.09	.08	.58	1.86	10.4
10.3	1.06	19.8	.38	.38	.15	.18	.11	.05	.28	.10	.08	.18	.12	.11	.43	2.55	12.9
9.3	1.27	19.3	.38	.35	.09	.12	.06	.03	.25	.08	.05	.07	.11	.10	.65	2.34	12.1
11.7	1.19	28.7	.70	.67	.18	.23	.13	.07	.48	.17	.12	.15	.16	.21	1.19	4.46	15.5

4. 考 察

4.1 規則波中特性

4.1.1 動揺特性

「海明」模型の動揺は、従来からの実験⁴⁾および計算⁵⁾によって示されている値とはほぼ同程度であり、heaving 同調周期は約 2.3 秒、pitching 同調周期は約 2.5 秒となっており、これらは実機スケールで前者で約 10.3 秒、後者で約 11.2 秒である。

「海明」設置海域では、これらの周期の波の出現頻度は高くなく、したがって浮体としては卓越波浪に対してはさほど動揺しないようになっている。

4.1.2 相対波高

各空気室への入射波高とみなし得る相対波高については、船首、中央、船尾ともにピーク値出現周期は約 1.5 秒付近、すなわち実機スケールで約 6.7 秒である。この周期は設置海域の卓越波浪周期に近く、したがって「海明」は相対波高を高めるのに適していることが判る。

4.1.3 空気出力

(1) 空気出力分布

空気出力の各空気室位置に対する分布状況は、第一期「海明」実験によっても実証されたように¹⁾、実験海域の卓越波浪周期 (約 7 秒) 付近では、船首、中央、船尾の空気室の出力が大きく、全体総合出力の殆んどを占めていることが確認された。

(2) 総合空気出力

いずれのノズル状態に対しても総合空気出力がピークとなる波周期は約 1.4 ~ 1.5 秒、すなわち

実機スケールで約 6.3 ~ 6.7 秒であり、この海域の卓越波浪周期に合っている。

しかし、第二期「海明」のノズル状態は最適となっておらず、よりノズルを開けた状態、すなわち水柱運動に対する負荷を小さくしたほうが効果的であることが推測される。

4.1.4 空気流位相制御

規則波中実験の結果から、5NPおよび12SPの空気室ともに、空気流位相制御により、模型スケールで約 9 秒以上で、空気出力は約 2 ~ 3 倍程度に向上され、このような長周期の波浪中で空気流位相制御の効果があることが明らかになった。ただし、その制御タイミングについては最適となっておらず、今後さらにこれについて検討しなければならない。

4.2 不規則波中特性

4.2.1 動揺特性

「海明」の不規則波中動揺特性は、入射波のスペクトラムに規則波中動揺応答関数を乗じる、いわゆる線形重ね合わせ⁶⁾により推測できることが確認された。これより、底の開いた幾つもの空気室を有する「海明」のような浮体も、動揺については線形に取り扱えることが確認された。

4.2.2 空気出力特性

不規則波中における総合空気出力効率は、波周期の代表パラメータとして平均周期 T_{mean}とすると、規則波中のその値に比べてほぼ同じ値を呈している。これより、その平均周期を規則波周期

とにおいて、規則波中特性の値から不規則波中における空気出力の推測が行えることが判明した。

5. おわりに

第二期「海明」の海上試験を行うのに先だち、その1/20模型による水槽試験を行った。その結果、実機試験における空気出力の推測を行うための資料を得ることができ、また、一層の出力向上の見通しをたてることができた。今後、実機試験によって得られるデータを用い、さらに模型試験と実機試験との相関について検討を進める予定である。

なお、この水槽試験を行うにあたり、多くのご助言を賜わり、また水槽および計測機器類の使用に便宣を図って下さいました運輸省船舶技術研究所海洋開発工学部運動性能研究室安藤定雄室長に、心から感謝致します。

文 献

- 1) 海洋科学技術センター；1981，“波力発電装置「海明」の研究に関する総合報告
- 2) 堀田平，宮崎武晃；1984，“位相制御による波エネルギー吸収効率の向上”，第1回波浪エネルギー利用シンポジウム，105-120
- 3) 工藤君明，吉田昭二；1984，“海明型波力発電装置の船型に関する設計的研究”，第1回波浪エネルギー利用シンポジウム，239-247
- 4) 宮崎武晃，益田善雄，安藤定雄；1978，“消波発電装置に関する水槽実験”，海洋科学センター試験研究報告第2号，35-44
- 5) 青木裕；1984，“波力発電の出力向上に関する実験研究”，筑波大学卒業論文，
- 6) 福田淳一；1969，“船体応答の統計的予測”，日本造船学会，耐航性に関するシンポジウム

(原稿受理：1985年9月25日)