

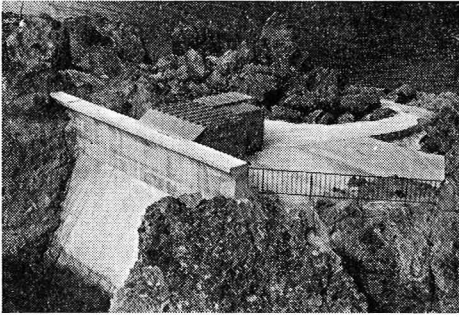


写真-1 沿岸固定式波力発電装置の外観

軸流速度 V_a (タービン部通過空気流量/タービン環状流路断面積) の関係について、送風機による定常流中試験によって得られた値を図-3に示す。なお、図中の細線は、同流量に対するノズル(開孔)による負荷特性であり、ノズル面積としてタービンの環状流路断面積から翼面積を差し引いた値ならびにその1/2の値、すなわちノズル比 C_N (ノズル面積/空気室面積) として1/140ならびに1/200の場合の値を示す。

一方、使用した発電機は定格出力40kW、定格回転数1792rpmの同期発電機であり、出力電圧がAC 200Vで一定になるように制御されている。なお、発電された電力は抵抗負荷器により総て熱エネルギーに変換され、放熱により消費されるようにした。

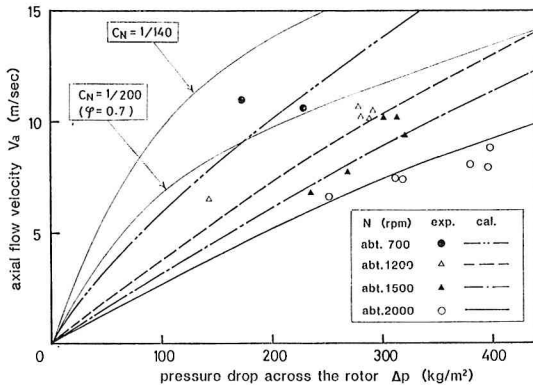


図-3 空気タービンによる負荷特性

2.3 波浪および潮汐

本試験においては、装置前方および沖合における波浪の観測は行われなかった。そこで、装置に入射する波のデータとして、装置の設置場所から海岸線に沿って南西に約7kmの地点にある気象庁五十川波浪観測所において計測された沖合波浪に関するデータを用いた。計測期間中の1/3有義波の総計1578点のデータに対する出現度数分布を表-1に示す。

一方、潮汐は一日一回潮であり、その高さは大潮で約0.6m程度、小潮で約0.3m程度であり、堤体の前面壁下端が静水面上になることは無い。

表-1 沖合における有義波出現度数分布

周期 (秒)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
波高 (m)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0.0~0.5	1	32	58	60	26	6	4	0	1	1	3		
~0.0	0	4	58	89	126	27	3	0	0	0	0		
~1.5	0	0	14	99	122	62	12	0	0	0	0		
~2.0	0	0	2	36	96	59	22	0	0	0	0		
~2.5	0	0	0	1	48	87	31	2	0	0	1		
~3.0	0	0	0	0	16	61	54	0	0	0	0		
~3.5	0	0	0	0	0	31	52	12	1	0	0		
~4.0	0	0	0	0	0	6	48	16	0	0	0		
~4.5	0	0	0	0	0	1	14	23	3	0	0		
~5.0	0	0	0	0	0	0	4	16	4	0	0		
~5.5	0	0	0	0	0	0	0	7	2	1	0		
~6.0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	1	0		
~6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0		
~7.0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0		
7.0<	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0		

3. 空気出力特性

計測は、主に空気室内圧力 p 、空気室内水位 ζ 、タービン回転数 N 、発電出力 E について行われた。計測例として、沖合での波浪が $H_{1/3}=3.5$ m、 $T_{1/3}=8.5$ 秒の時のデータを図-4に示す。

これらを用いて、空気出力特性すなわち堤体の波エネルギー一次変換特性について調べる。

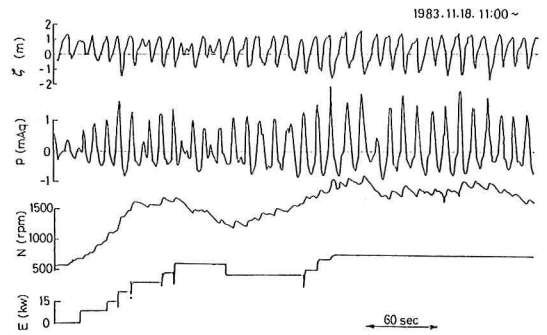


図-4 計測データ例

3.1 空気室内水位変動

本装置は、振動水柱型の装置ではあるが、空気室内の水面は定在波などにより水平とはなっていないうえ、入射波が砕波する海象状況が多い。そこで、砕波しない波についてのみ、装置の直前における有義波浪の入射波高 H_I を浅水変形から推定し、それに対する空気室内平均水位変動両振幅の有義値 ζ の割合について平均波周期 T_{AVE} に対して求めたものを図-5に示す。

図中の実験値はノズル比1/150のノズルを負荷とした約1/11縮尺模型による値である⁵⁾。これより、 $T_{AVE}=5\sim6$ 秒において、実海域計測値がばらつくことから、砕波しない波についても空気室内に発生する定在波の影響で空気室内液面は水平でなく、したがって空気室内の水塊を等価浮体として取り扱うことは困難であると考え

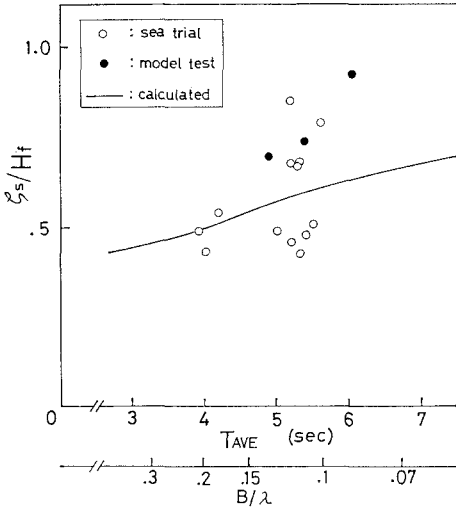


図-5 空気室内水位変動特性

られる。

そのため、図中の計算値は、空気室内の質量およびエネルギーの保存則から導いた小島・高橋⁹⁾の方法を用いて得られた結果である。この計算において、入射波を正弦波とし、またタービンの回転による縮流状況を表す速度係数は0.7で一定としてノズル比1/200のノズルによる負荷のもとでの値として求めた。なお、ウェルズタービンは線形負荷、すなわちタービン前後の差圧は空気流速にほぼ比例するという特性を有しているが、図-3にも示すように、本タービンの運転状況に関しては $\varphi = 0.7$ ではほぼ近似できるとして、この方法を用いた。

この結果、計算値は実海域計測値を定性的・定量的に推定するのに有効であり、これより、タービン負荷をその回転数に依存する絞りの係数を用いてノズル負荷に置き換える小島・高橋らの方法が有効であることが確認さ

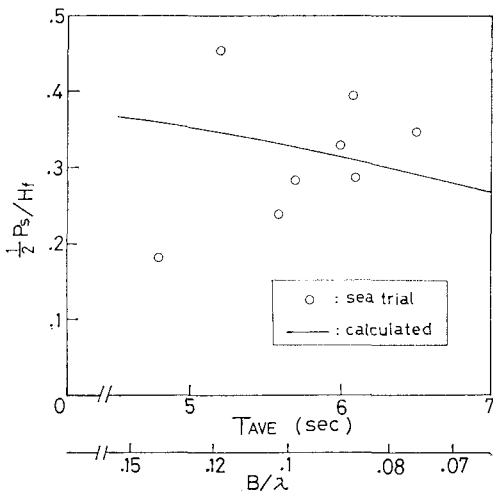


図-6 空気室内圧力変動特性

れた。

3.2 空気室内圧力変動

3.1と同様に、砕波しない波について、 H_f に対する空気室内圧力変動ピーク値の有義値 p_s の片振幅の比(比圧力)として得られた値を図-6に示す。図中の計算値は、3.1にて用いた方法で求めた値である。計測値が少ないために定性的に評価し難いが、波周期6秒前後では合っており、この付近の周期が卓越していることから、総合的な空気出力の推定には有効であろう。

3.3 空気出力効率

空気出力は、空気室内の水塊の行う仕事、すなわち空気室内波面変動速度と空気室内圧力の積であり、3.1および3.2に示したように、そのいずれについても計算結果が有効であることから、ここに用いた計算法によって求められる空気出力効率もまた有効であることが推定される。計算結果ならびにノズル比を1/150として行った実験結果を図-7に示す。

これより、本装置の堤体の空気出力効率すなわち波エネルギー一次変換効率は、砕波しないような波に対しては、設置海域の波周波数帯において約50%程度であることが推定された。

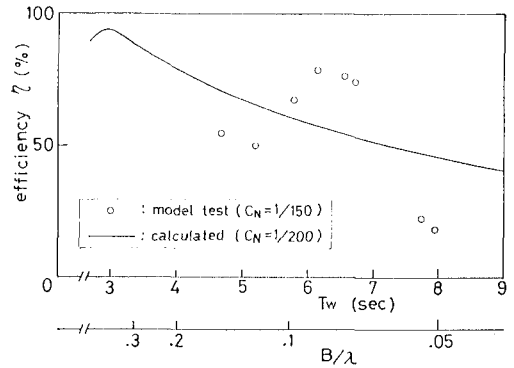


図-7 空気出力効率

4. 発電出力特性

4.1 発電運転

発電運転は、出力電圧をAC 200V一定とし、タービン・発電機の回転数に応じて抵抗負荷器の抵抗値の設定を変えて電流値を操作する方式で行われた。これには自動運転と手動運転があり、計測時には主に手動運転で行われた。したがって、操作に運転者の判断が入るため発電出力を定量的に正確に把握することは困難である。

図-8に本試験において行った発電運転状況を示す。図中の N_{mean} は平均タービン回転数、 E_m は計測時間内平均発電出力である。また、斜線で囲まれた範囲が定電圧の発電可能な領域であり、それに比べて比較的低出力の運転を行っていたことが判る、3.1に示したように、

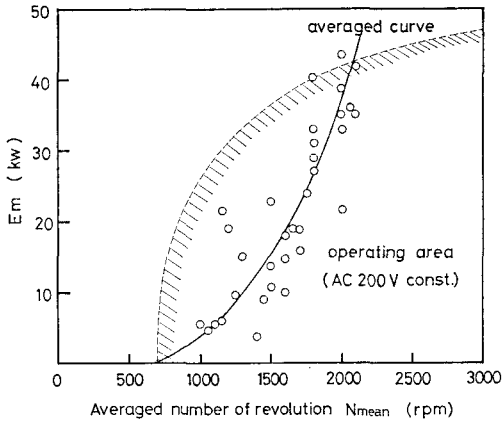


図-8 タービン回転数と発電出力の関係

“ノズル”は過負荷なほどに絞られていることから、運転にあたっては、より回転数を低下させるように操作すること、すなわち発電出力を増加させるようにすることが良いことが推定される。

4.2 空気室内圧力に対する特性

図-9に空気室内圧力変動ピーク値 p_{peak} の平均値と有義値に対する E_m の特性を示す。空気室内圧力と発電出力の間には明白な相関があり、これは、タービンの諸特性が変動する空気流の中で準定常的に取り扱うことができるなら、以下に示すように推測できる。

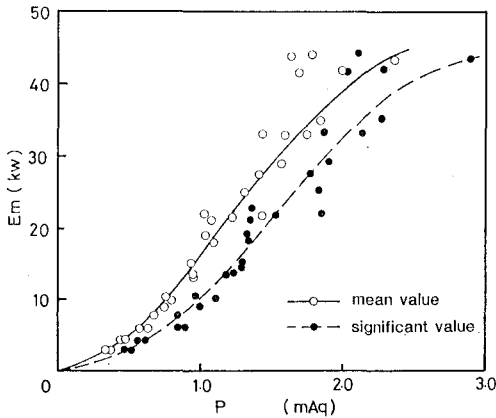


図-9 空気室内圧力に対する発電出力

発電出力 E_m は、空気室内圧力すなわちタービン差圧 Δp を用いて、次式で求められる。

$$E_m = a A_T R_T N \frac{C_T}{\Psi_T} \eta_G(N) \Delta p \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 a ； トルク-発電出力換算係数

A_T ； タービンの環状流路断面積

R_T ； タービン半径

N ； 回転数

C_T ； タービントルク係数

Ψ_T ； タービン差圧係数

η_G ； 発電機効率

今、 η_G が N に対しほぼ一定だとすると、 N は Δp にほぼ比例しており、したがって C_T/Ψ_T も概ね一定であることから、タービン失速領域には入っていないことが推定でき、タービン効率の観点からは効果的な範囲の中での運転であったと考えられる。

4.3 沖合波浪に対する特性

図-10に沖合における有義波高の一日平均値 H_s に対する一日平均発電出力 E_d の関係を示す。

沖合における不規則波の持つ波エネルギー E_W は、有義周期 T_s および H_s を用いて、次式で表わされる。

$$E_W = 0.44 H_s^2 T_s \quad [\text{kW/m}] \quad \dots\dots\dots (2)$$

一方、表-1に示すように T_s は H_s と正相関の関係を有している。

これに対して図-10に示す発電出力は H_s にほぼ比例しており、エネルギーの大きな高波高、長周期の波に対しては有効にエネルギー吸収を行っていないことが判る。これは、3.3に示した堤体の空気出力効率が長周期側で低下することも要因の一つではあるが、そのような波は装置に入射する以前で砕波してエネルギーを減衰させていることにも起因しているであろう。

また、計測期間中の月別および総合の平均有義波浪と

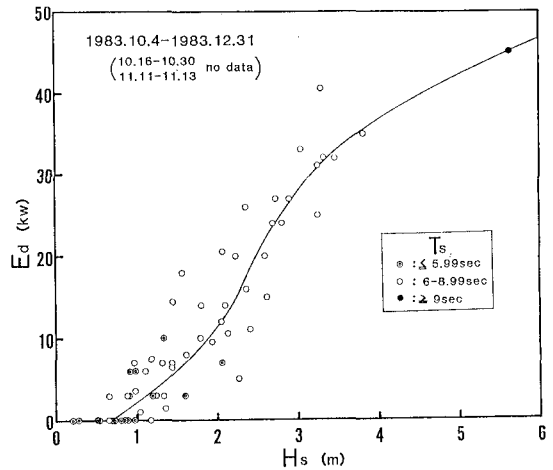


図-10 沖合有義波高に対する平均発電出力

表-2 月別平均有義波浪と平均発電出力

年	月	平均 1/3 有義波浪		平均 発電出力 (kW)
		周期 (秒)	波高 (m)	
1983	10	6.5	1.4	8.8
	11	6.8	1.6	13.7
	12	7.3	2.2	17.4
1984	1	7.3	2.2	12.8
	2	6.9	2.1	9.5
	3	6.6	1.7	5.4
計 会 員		6.9	1.8	11.3

平均発電出力を表-2に示す。これより、本装置の沖合の波エネルギーに対する総合発電効率として約 11% を得ており、堤体の空気出力効率が約 50%、タービン効率が約 40%³⁾であることから、入射波のエネルギーは浅水影響等により約 1/2 に減じていたと推定される。

5. 結 語

(1) 本方式の装置が、冬期の日本海沿岸において発電運転を行うにあたって十分に耐久性を有し、また岩礁へも堅固に固定できることが確認された。

(2) 本装置のような固定式装置の空気出力を求めるには、空気室内の定在波を考慮した小島・高橋らの方法が有効であることが確認され、それにより、堤体の空気出力効率は約 50% 程度であることが推定された。

(3) 発電出力はほぼ沖合波高に比例し、計測期間を通じての平均発電力は約 11.3kW、沖合の波エネルギーに対する発電出力効率は約 11% であった。

(4) 発電運転にあたっては多分に過負荷な操作を行っており、より適した操作を行うことにより、一層の出力の向上を図ることができる。

6. おわりに

振動水柱型空気タービン方式である沿岸固定式波力発電装置の冬期約半年間に亘る発電運転および計測の結果、堤体ならびにタービン・発電機ともに大きなトラブルは無く、平均発電出力 11.3kW を得たことから、本方式装置の実用化へ目処を立てることができた。しかし、発電単価まで考慮すれば更に出力の向上を図る必要があり、堤体およびタービン・発電機にはまだ改善すべ

き点は多く残されている。今後、これらの課題について一層の研究を行い、十分実用に供する装置を開発しなければならない。

本装置は、昭和 58 年度に新技術開発事業団に開発課題として採用され、三井造船株式会社および富士電機株式会社によって建造されたものであることを付記し、これにご尽力下さった関係各位、ならびにご指導頂いた東京大学工学部船用機械工学科 荒川忠一助教授、鈴木正巳助手、東京大学生産技術研究所 木下 健助教授、運輸省港湾技術研究所水工部 高橋重雄室長、ご協力頂いた山形県、鶴岡市、三瀬および漁業共同組合各位に厚く御礼申しあげます。

参 考 文 献

- 1) 近藤徹郎・渡辺富治・奥田教海・松田敏彦：離島に対する沿岸波浪エネルギー利用システムの適用性，第1回波浪エネルギー利用シンポジウム，pp. 339～349，海洋科学技術センター，1984。
- 2) 堀田 平・鶴尾幸久・石井進一・益田善雄・宮崎武晃・工藤君明：沿岸固定式波力発電装置の開発，第10回海洋開発シンポジウム，土木学会，1985。
- 3) 石井進一・益田善雄・宮崎武晃・工藤君明・堀田 平・鶴尾幸久：沿岸固定式空気タービン波力発電装置の発電運転試験，海洋科学技術センター試験研究報告，14号，pp. 55～79，1984。
- 4) 鶴尾幸久・堀田 平・宮崎武晃・益田善雄：タンデムウェルズタービンの実機性能試験，第1回波浪エネルギー利用シンポジウム，pp. 191～199，1984。
- 5) 日大理工学部増田研究室・東大生研木下研究室：振動水柱型波浪発電装置の一次変換効率水槽実験，(未印刷)。
- 6) Shigeo Takahashi, R. Ojima, S. Suzumura: Air power of Pneumatic-type wave power extractors due to irregular wave actions—a study one development of wave power, 3rd report—, 港湾技術研究所報告，第24巻第1号，1985。