

1 まえがき

日本列島の概図

凡例

○ 港

● 漁港

才木

紋別

網走

李登呂

仙法志

日

留町

石段

岩内

瀬南

山背泊

松前

十勝

網走

樺太

日本海

太平洋

朝鮮海

北海道をとりまく海は、西に日本海、南に太平洋、東にオホーシカ海があり、その沿岸に点在する各港の波浪特性も、地形的な影響だけでなく、海域によ

本報告は、北海道開発局管内の港湾、漁港で取得した波浪観測データを統計整理し、波高、周期、波浪エネルギーなどの波浪特性を海域別・四季別に比較検討を試みたものである。北海道の各港の波浪特性については、すで

海域		港名	観測計器		統計期間		測得状況	
			器種	水深	期間	年数	観測回数	測得率
日本海	北部	仙法志	ステツプ式	-12 ^m	71.12 ~ 75.11	4	12	83.9%
		留萌	"	-12	71.12 ~ 76.11	5	12	85.8
	南部	石狩	超音波式	-10 -24.6(78)	70.12 ~ 72.11, 74.9 ~ 75.8 76.9 ~ 77.8, 78.6 ~ 79.5	5	12	89.2
		岩内	ステツプ式	-11.6	74.12 ~ 79.11	5	12	93.8
		瀬棚	超音波式	-25	78.6 ~ 80.5	2	12	96.2
太平洋	西部	松前	ステツプ式	-12	68.11 ~ 69.10, 70.11 ~ 72.10 75.8 ~ 76.7	4	12	80.4
		山背泊	"	-10	69.12 ~ 71.11, 72.12 ~ 74.11 75.12 ~ 76.11	5	6	87.2
	東部	苫小牧	"	-13	71.12 ~ 76.11	5	12	98.7
		様似	"	-10	68.9 ~ 71.8, 73.9 ~ 74.8	4	12	82.4
		十勝	中西流式 (一部超音波式)	-	69.9 ~ 71.8	2	12	88.4
オホソク海	釧路	超音波式	-12	71.3 ~ 72.2, 72.12 ~ 73.11	2	12	90.2	
		宇登呂	"	-12	70.5 ~ 72, 72.5 ~ 72 76.5 ~ 72, 78.5 ~ 72	4	12	75.3
		網走	"	-30	79.5 ~ 72	1	12	85.1
		紋別	"	-18	75.5 ~ 72, 76.5 ~ 72, 77.5 ~ 72 78.5 ~ 72, 79.5 ~ 72	5	12	96.0

に鴻上らによって昭和41年までの、主に宇田居式波高計で取得したデータを解析し、報告がなされている¹⁾。最近のデータを利用したものに、牧野らの報告がある²⁾。これは、月別波高分布、異常気象の確率波高、年間波浪エネルギーなどが検討されている。

2. 対象港および統計データ

統計解析の対象とした波浪観測は、日本海側6港、太平洋側5港、オホーツク海側3港の計14港とした。各港の観測計器、統計期間、測得状況の一覧を表-1に示す。波高計は、十勝の宇田居式以外は、すべてステップ式または超音波式となっている。統計年数は、異常気象の年が含まれても平均化されることを考慮し、4~5年を目標とした。しかし、年間、1ヶ月以上の連続した欠測のない期間を統計の対象としたため、瀬棚、十勝、釧路は2年、網走は1年しかとることができなかった。また、オホーツク海側の3港は、流氷期を除く5~12月を統計の対象とした。以下、解析に用いた波高、周期はゼロアップクロス法で求めた H_x 、 T_x とする。

3. 波高

一般に、常時の波高分布を表わすのに未超過確率を用いることが多い。このときの未超過確率は、ある期間(年、季節、月)にある波高を超過しない確率を考える。反対に、100%から未超過確率を引いて求められる超過確率は、ある波高以上の波が発生する確率を与える。以下においても、未超過確率によって波高の海域別季節別の特性を検討することにする。

図-2~6は、未超過確率をパラメータとして各港の波高を比較したものである。図-2は、年間の波高を示したものである。50%の未超過確率に相当する波高(以下、未超過確率波高と呼び、 H_p の記号を用いる)は、0.6~0.8mに分布し、海域別の差はない。しかし、75%の H_p は、日本海側で1.3m程度、太平洋側で1m前後、オホーツク海で1.1m程度となり、日本海側とオホーツク海側が太平洋側よりやや大きいことがわかる。95%の H_p は日本海側、オホーツク海側が2.5m前後となるのに対し、太平洋側では1.8m前後となり、その差はかなり開き、太平洋側に入ってきた時代の頻度が少ないことがわかる。各海域のなかでは、日本海北部の留萌、日本海南部の瀬棚、太平洋西部の様似、太平洋東部の釧路、オホーツク海の宇登呂などが、他の同じ海域の港より、やや大きな波高となっている。これは、地形的な影響によると考えられる。図には99%の H_p も示しているが、このような波は、異常気

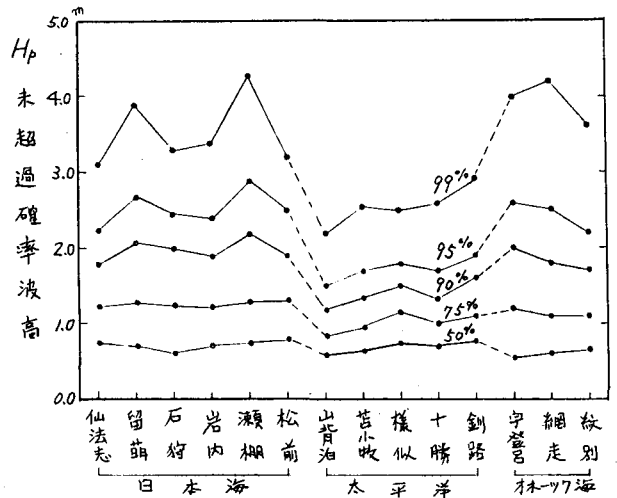


図-2 未超過確率波高(年間)

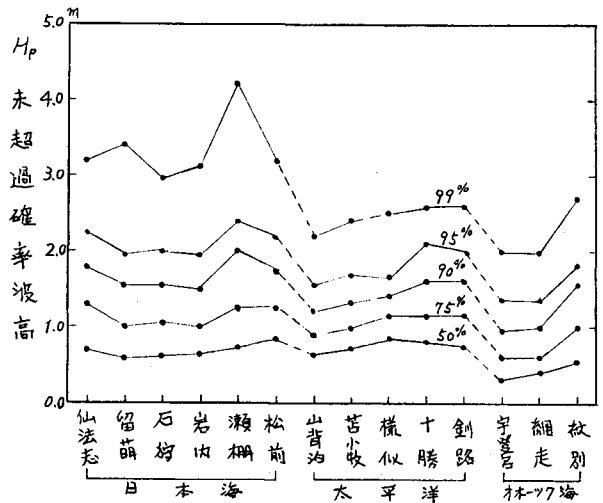


図-3 未超過確率波高(春期)

象によって起るものであり、統計期間が違つたとまた異なつた値を示すと考えられ、この図および以下の図においては参考値として示した。

季節別の収高特性を述べるために、北海道の気象のあらましについて、簡単に述べることにする²⁾。まず、春期は3月のなかばを過ぎると大陸高気圧は衰え、北西季節風の吹く日数がしだいに減つてくる。そして、4月、5月になると北海道の西側を北上する移動性低気圧が、しばしば現われ、これに伴う南よりの強い風が吹くことがある。また、オホーツク海の流氷は4月上旬、後退し海あけとなる。夏期は、気圧配置が南高北低となり、南東季節風の最盛期となる。秋期になると、大陸の高気圧が徐々に強まる。この間に、移動性高気圧と低気圧が交互に通過し、寒冷前線のあとに冷涼な秋風が吹きだす。また、9月、10月は、台風がしばしば北上し、全道的に暴風雨をもたらす。冬期は、西高東低の気圧配置となり、強い北西の季節風が吹くことになる。特に、日本海沿岸は 15m/sec 以上の強風になることがしばしば起る。オホーツク海沿岸では、1月上旬に流氷が着岸する。

春期(3,4,5月)のHpを図-3に示す。この図から、50%のHpを見ると、日本海側と太平洋側は、ほとんど差がなく、両方とも $0.6\sim 0.8\text{m}$ になっている。一方、オホーツク海側(5月)は、 $0.4\sim 0.6\text{m}$ と穏やかになっている。95%のHpは、日本海側が $2\sim 2.4\text{m}$ であるのに対し、太平洋側は $1.7\sim 2\text{m}$ と小さな値になっている。オホーツク海側は、さらに小さく、 $1.4\sim 1.7\text{m}$ となっている。同じ海域で見ると、日本海では、南の対岸距離が開放になっている仙法志、瀬棚、松前が大きな波高となっている。太平洋側では、東部の十勝、釧路が大きく、オホーツク海では、東よりの対岸距離の長い紋別が大きい。

夏期(6,7,8月)のHpを図-4に示す。50%のHpは日本海側とオホーツク海側で $0.2\sim 0.5\text{m}$ となり、極めて穏やかなことがわかる。太平洋側は、 $0.6\sim 0.8\text{m}$ となり、年間の値とほぼ同じである。95%のHpは、日本海側、オホーツク海側で $1\sim 1.3\text{m}$ となり、この海域は一年で一巻靜かな時期となる。ただ、日

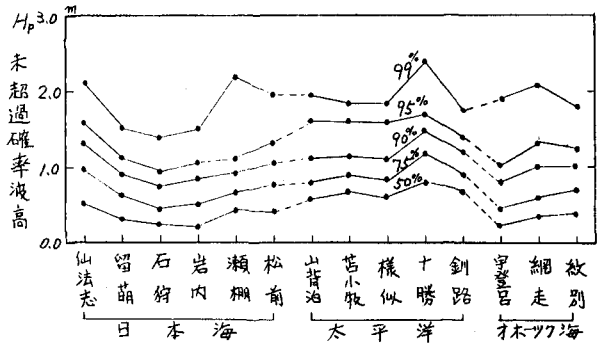


図-4 未超過確率波高 (夏期)

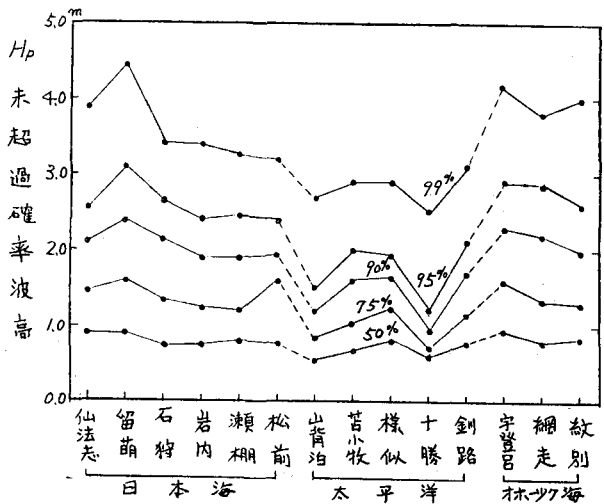


図-5 未超過確率波高 (秋期)

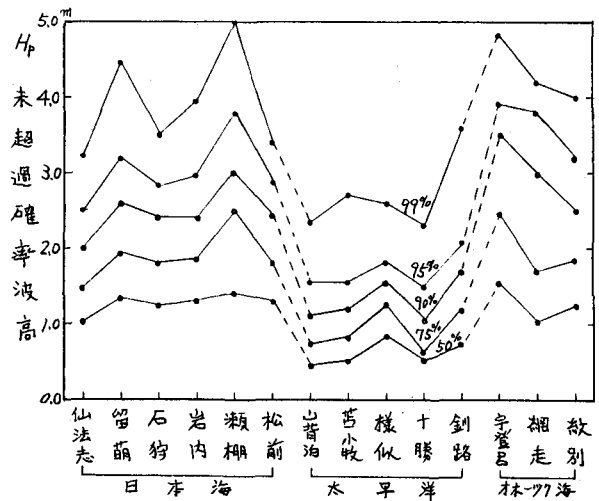


図-6 未超過確率波高 (冬期)

本海の仙法志は島にあり、南側の対岸が開放となっているため、 1.5° とやや大きな値を示す。太平洋は、 1.6° 程度となる。

秋期(9,10,11月)のHPを図-5に示す。 50% のHPは、日本海側で $0.7\sim0.9^{\circ}$ 、太平洋側で $0.6\sim0.8^{\circ}$ 、オホーツク側で $0.8\sim0.9^{\circ}$ とほぼ同じである。しかし、 95% のHPは、日本海側、オホーツク海側で $2.5\sim3^{\circ}$ であるのに対して、太平洋側は 2° 程度となる。太平洋側で、特徴的なのは、西方が陸岸で閉鎖されている山背泊、十勝が、それぞれ 1.5° 、 1.2° と特に低い値を示す。

冬期(12,1,2月)のHPを図-6に示す。 50% のHPは、日本海側、オホーツク海側で $1\sim1.3^{\circ}$ 、太平洋側で $0.5\sim0.8^{\circ}$ となり、日本海側、オホーツク海側では、海上の荒れる日が非常に多い時期となる。 95% のHPは、日本海側、オホーツク海側で $3\sim3.5^{\circ}$ 程度の非常に大きな値を示すのに、太平洋側では 1.5° 程度で、他の季節に比べてもあまり大きくならない。ただし、西よりの対岸距離の比較的に長い山背泊、釧路は、それぞれ 1.8° 、 2.1° とやや大きな値を示す。

以上、季節別の海域特性を述べてきたが、これをまとめると次のようなことがわかる。日本海側は、北西の季節風の強い冬期は大きな時化が頻く、夏期は非常に静穏となる。秋期は、北西の季節風が間歇的に吹いたり、移動性低気圧が北上したりするため、夏期ほど静穏とはならない。太平洋側は、日高山脈南端の襟裳岬が南の方に深く突き出しているため、各港の波浪特性は地形の影響を受け一律に論じられないが、一般に季節的な差は、日本海側ほど大きくはない。極めて大きな時化は、台風が発達する秋期に多い。また、夏期は南東の季節風により、あまり静穏にはならない。オホーツク海側は、日本海側に近い傾向を示す。

4. 周期

図-7は、年間の周期別の出現率を示したものである。日本海側は、 $4\sim6^{\text{sec}}$ の短周期の出現率が最も高く、 50% 以上を占める港が多い。次いで $6\sim8^{\text{sec}}$ が 35% 前後となり、 8^{sec} 以下の累計がいずれの港も 90% を超える。太平洋側は、港によって種々異なるが、 8^{sec} 以上の長周期の出現率は、日本海側と比べ非常に高く、うねりの来襲頻度の多いことがわかる。特に、 10^{sec} 以上の長周期の出現率の高い港としては、山背泊の 25% 、山背の 20% 、釧路の 8% がある。また、太平洋岸の弓状海岸線の最奥部または屈曲部に位置する苫小牧、十勝は、 4^{sec} 以下の出現率が 30% と高いことが注目される。これは、海岸線に近い方向に形成する吹送距離の短い風波を観測していると考えられる。オホーツク海側は、港

による差異はあまりなく、 $4\sim6^{\text{sec}}$ が 35% 程度、 $6\sim8^{\text{sec}}$ も 35% 程度、 8^{sec} 以上 25% 程度となっている。これを日本海側と比較すると、 8^{sec} 以上の長周期が3倍程度にもなり、周期の発達した波が来襲することがわかる。

簡単に季節別の特徴を述べると、日本海側、オホーツク海側は冬期に波高が大きくなるだけでなく周期も長くなる傾向にある。一方、夏期は、短周期のものが非常に多い。太平洋側では、季節による差はあまりない。ただし、長周期のものについては、十勝を除いて秋期にやや多くなる。

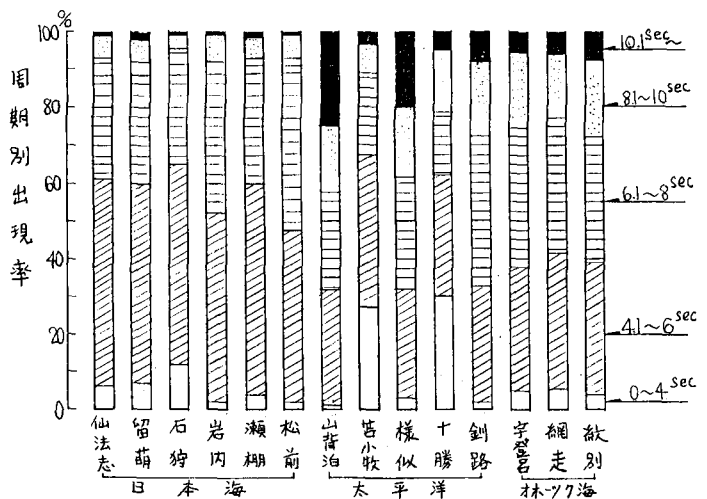


図-7 周期別出現率(年間)

5. 波浪エネルギー

波のエネルギー量は、一般に波の進行方向に直角、すなわち峰の方向の単位幅を単位時間に通過する平均のエネルギー量(工率)で表現される。海の不規則な波の工率の推定については、筆者のうち近藤による末尾に掲げた付録を参照されたい。以下では、Bretschneider-光易型のスペクトル密度関数から求めた工率によって検討した。

各港の期間別平均の工率を付録の式(12)によって求めた結果を示したのが図-8である。年間の平均工率は、日本海側、オホーツク側で4~5 kW/m となる。太平洋側では、様似、釧路が約3.5 kW/m であるが、その他は2~2.5 kW/m となる。

季節別について見ると、日本海側の冬期は、7~9 kW/m と大きな値を示す港が大半である。逆に、夏期は0.5~1.5 kW/m と極めて小さな値となる。また、春期は2.5~4 kW/m 、秋期は4 kW/m 程度となる。太平洋側は、日本海側のような季節による極端な差はない。しかし、地形的な影響を受け、港別にそれぞれ特徴がある。すなわち、南東に面した十勝では、北西季節風の影響を受けないため、冬期1.5 kW/m と他の港に比べ小さい値であるが、逆に夏期は3.5 kW/m と他の港よりも大きい。一方、西よりの比較的長い対岸距離を有する様似、釧路では、秋期、冬期、春期に4 kW/m 前後になり、他の港よりも大きい。オホーツク海側は、秋期7 kW/m 程度、冬期(12月)は10 kW/m を超える大きな値となる。逆に、春期(5月)、夏期は1 kW/m 程度の小さな値となり、季節による差は、日本海側と同じように極端に大きい。

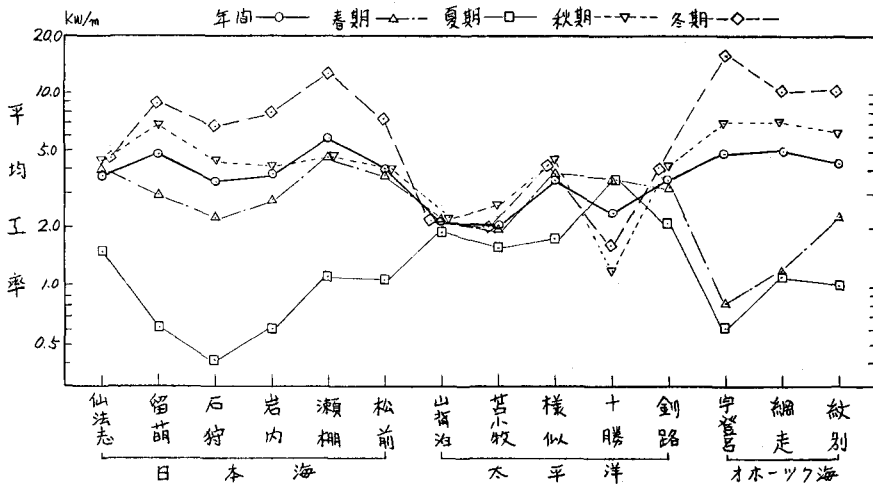


図-8 波浪の期間別平均工率

6. おわりに

本報告では、各港の波浪観測結果から、海域別の波高、周期、波浪エネルギーなどの沿岸波浪の特性について述べてきた。しかし、実際の海岸構造物の配置や海浜変形の検討には、ここで扱わなかった波向特性も極めて重要となるので、今後これについてもデータを取りまとめ報告したいと考えている。

参考文献

- 1) 鴻上雄三、佐藤 功、井上豪彦、潮 昭彦：北海道沿岸における波浪特性，第11回北海道開発局技術研究発表論文集、昭和42年2月
- 2) 牧野成雄、吉岡弘治：北海道沿岸の波浪と潮位特性について、土木試験所報告オ71号、昭和54年2月。
- 3) 札幌管区気象台：北海道の気候、気象協会北海道地方本部、昭和39年3月。

I. 不規則波のスペクトル密度関数

一次元のスペクトル密度関数は、通常、下のよう^{a)}に与えられる。

$$E(f) = A f^{-5} \exp[-B f^{-4}] \quad (m^2 \cdot sec) \quad (1)$$

A, Bは研究者によって異なった値が提案されている。例えば、Pierson-MoskowitzのスペクトルではF式のような^{b)}。

$$\left. \begin{aligned} A &= 8.10 \times 10^{-3} (2\pi)^{-4} \cdot g^2 \\ B &= 0.74 (g/2\pi U)^4 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここでgは重力加速度($9.8 m/sec^2$), Uは水面上19.5mにおける風速(m/sec)である。また、A, Bを有義波高 $H_{1/3}(m)$ およびゼロアップクロス平均周期 $\bar{T}_{0.2}(sec)$ で表現すると下ようになる。

$$A = \frac{H_{1/3}^2}{4\pi \bar{T}_{0.2}^4}, \quad B = \frac{1}{\pi \bar{T}_{0.2}^4} \quad (3)$$

(2)式と(3)式は、下の関係による。

$$\left. \begin{aligned} H_{1/3} &= 2.12 \times 10^{-2} U^2 \\ \bar{T}_{0.2} &= 0.81 \times (2\pi U/g) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

良く知られている。この他の二種のスペクトルのA, Bは、付表に示す。^{b)}

II. 不規則波のエネルギー

不規則波がもつ単位面積当りの全エネルギーは、

$$E = \omega_0 \int_0^\infty E(f) df = \omega_0 \cdot \bar{\epsilon}^2 \quad (5)$$

と表わされる。ここに、 ω_0 は水の単位重量、 $\bar{\epsilon}$ は水位変動自乗の平均である。(1)式のE(f)を上式に代入し、積分を実施する。その際、次式の関係を利用する。^{b)}

付表. 各種スペクトル密度関数のA, B, W/ω_0 , $\bar{W}$

名 称	A	B	W/ω_0	$\bar{W} (kw/m)$
Pierson-Moskowitz	$\frac{1}{4\pi} H_{1/3}^2 \bar{T}_{0.2}^4$	$\frac{1}{\pi} \bar{T}_{0.2}^4$	$0.0588 H_{1/3}^2 \bar{T}_{0.2}$	$0.59 H_{1/3}^2 \bar{T}_{0.2}$
ISSC(口隆船舶体構造会議)	$0.111 H_{1/3}^2 \bar{T}_{0.1}^4$	$0.443 \bar{T}_{0.1}^4$	$0.0543 H_{1/3}^2 \bar{T}_{0.1}$	$0.55 H_{1/3}^2 \bar{T}_{0.1}$
Bretschneider-光易	$0.258 H_{1/3}^2 \bar{T}_{1/3}^4$	$1.03 \bar{T}_{1/3}^4$	$0.0439 H_{1/3}^2 \bar{T}_{1/3}$	$0.44 H_{1/3}^2 \bar{T}_{1/3}$

注). $\bar{T}_{0.2}$ と $\bar{T}_{0.1}$ の関係は、 $\bar{T}_{0.1} \approx 1.086 \bar{T}_{0.2}$ となる。

$$\int_0^\infty A f^{-m} \exp[-B f^{-n}] df = \frac{A}{n} \cdot \frac{\Gamma((m-1)/n)}{B^{(m-1)/n}} \quad (6)$$

この場合は、 $m=5$, $n=4$ であるから、 $\Gamma(1)=1$ となるので、Eは次式で表される。

$$E = \omega_0 \frac{A}{4B} = \frac{1}{16} \omega_0 H_{1/3}^2 \quad (7)$$

III. 不規則波の工率

単位峰幅と単位時間に通過する波のエネルギー量Wとエネルギー-Eとの関係は、規則波では下のようである。

$$W = E \cdot C_g \quad (8)$$

ここで C_g は波の群速度であり、深水波では、

$$C_g = \frac{1}{2} C_0 = \frac{1}{2} \left(\frac{g}{2\pi} T \right) = \frac{g}{4\pi f} \quad (9)$$

とする。(8)式は不規則波の一つの周波数の波に当てはまると考えられるから、不規則波では

$$W = \omega_0 \int_0^\infty E(f) \cdot C_g df = \frac{g \omega_0}{4\pi} \int_0^\infty A f^{-6} \exp[-B f^{-4}] df \quad (10)$$

となる。(6)式の関係から上式は、次式のようにになる。

$$W = \frac{g \omega_0}{4\pi} \left[\frac{A}{4} \cdot \frac{\Gamma(5/4)}{B^{5/4}} \right] = \frac{\omega_0 g}{16\pi} \cdot \frac{A}{B^{5/4}} \cdot 0.9064 \quad (11)$$

ここに、Wの単位は($tf^m/sec \cdot m$)である。これを(kw/m)で表わすと、次式のようにになる。

$$\bar{W} = 9.8 W \quad (12)$$

附表には、海水の ω_0 を $1.025 tf/m^3$ として計算した $\bar{W}$ を、 W/ω_0 と共に示した。

参考文献

- 光易 恒：構造物に作用する不規則な波の解析、シンポジウム波と構造物、土木学会、1972。
- 本間 仁・林 泰造 編：観水理学、丸善、1980。
- 岩垣雄一・榎木 亨：海岸工学、共立出版、1979。
- 田口賢士ほか訳：確率過程工学〈基礎と応用〉、共立出版、1980。