

庄内海岸の波について

三 浦 晃*

1. 緒 言

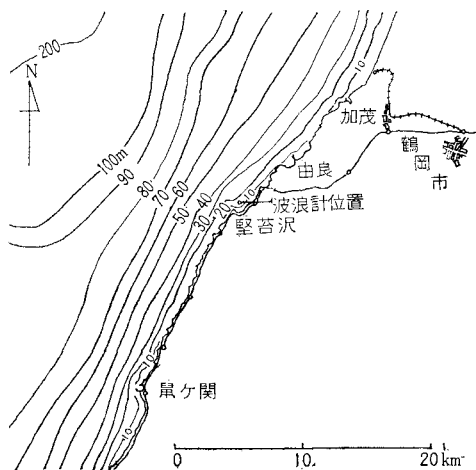
近年とみに海岸の利用度が増加し、各種の工事が盛んに行なわれるようになってきた。これらの海岸構造物を築造するため、技術的にもまた経済的にも最良の設計、施工を行なうように、昔よりいろいろの試みがなされ、失敗と工夫とが数多くくり返されてきた。現在なお不明の点が多々あるとはいえ、最近実験的手段によって、主として水理学的な研究が行なわれるようになり、多数の資料が提出されるようになった。

特に海岸堤防、海岸護岸の設計にあたって考慮されるべき要素は多く、慎重な検討を必要とするが、水理学的な要素は中でも重要な部分を占めると考えられる。設計にあたってまず問題となるのは天端高である。これを決定するには、波の遡上高および越波量を考えなければならない。この両者は互いに密接な関係を持っていることは明らかであるが、波の遡上高および越波量を支配する要素として、波の性質、前面の海浜形状といった自然条件に加えて、構造物の設置位置ならびにのり勾配などの構造物の型式が問題になる。これらの数多くの要因の中で外力波としての条件を知ることは重要なことであり、特に水理学的な実験を行なう場合に、波の不規則性が遡上高および越波量にかなりの影響をおよぼすものと考えられているからである。

現在のところ波浪の不規則性に関する研究は少なく、中でも日本海沿岸付近の波については特に少ないようである。普通、波浪は風浪とうねりとに分けられるが、ある観測点における波浪の波高および周期の頻度は1年間の波浪観測によって、かなりの正確さで求められると推測されている。それは波浪の発生原因である気象条件はほぼ1年を周期として年変化をくり返していると考えられるからである。しかしながら、ある地方に襲来する波浪の中で海岸構造物に影響をおよぼすような高波は、一般にある定まった季節に生ずることが多く、特定の気象条件によって高波が生ずることを示している。それゆえに、この特定の気象条件による波浪につき、詳しく解析することは必要なことであると考えられる。

今年1~3月の間、庄内海岸堅苔沢沖において水圧式波浪計による波浪観測を行ない若干の資料を得たので、

図-1 堅苔沢付近地図



当庄内海岸の特徴的波浪である季節風による波につき解析を行なったのでここに報告する。

2. 庄内海岸の波浪特性

今回の解析に使用した資料は、図-1に示したように山形県鶴岡市堅苔沢沖に設置した水圧式波浪計によるものである。この波浪計によって得た観測記録を有義波法によって解析し、有義波高 $H_{1/3}$ および有義波周期 $T_{1/3}$ 、1/10 最大波高 $H_{1/10}$ および 1/10 最大波周期 $T_{1/10}$ を算出した。

水圧式波浪計によって測定されたものは、波によって起こる水中の圧力変動であって、水面の変動量ではない。しかしながら水深 h が波長 L の 1/4 程度以下の場所では $T_{p,1/3} \div 1.04 T_{1/3}$ ($T_{p,1/3}$ = 水中の圧力波の有義波周期, $T_{1/3}$ = 水面における波の有義波周期) で、多少圧力波の周期が大きく出が実用上大差はないといわれている。

堅苔沢沖に設置した水圧式波浪計の水深は 13 m である。この波浪計によって記録された周期 $T_{p,1/3}$ は 6~14 sec 程度であるから、 h/L の値は 0.25~0.09 程度である。それゆえ水圧式波浪計によって観測された $T_{p,1/3}$ を $T_{1/3}$ として使用することにした。この観測周期を使用して水面波高 H は計算によって求めた。

波浪観測は 1964 年 1 月下旬から 3 月末日まで行ない、毎日 1 時, 3 時, 5 時……などの奇数時に 20 分間の波浪

* 正会員 理博 東北大学助教授 工学部

表-1

著 者	場 所	$H_{1/10}/H_{1/3}$
Wiegel (1949)	Pt. Arguello, Cal.	1.30
Putz (1950)	Pt. Sur, Cal. Heceta Head, Ore.	1.27 1.30
Watters (1953)	Greymouth, N.Z.	1.24
Bretschneider (1954)	Atchafalaya Bay, Louisiana	1.22 1.28 1.23 1.27
Farmer (1956)	Bermuda	1.24
Wiegel (1957)	Davenport, Cal.	1.32 1.19
Putz (1952)	T 型分布	1.29
Longuet-Higgins (1953)	理 論	1.27
岩垣, 他 (1962)	秋田海岸	1.34

の連続記録を取った。これらの記録から $H_{1/3}$ および $H_{1/10}$ の関係を求めると

$$H_{1/10}=1.25\ H_{1/3}$$

となった。この値は表-1に示した他の人々によって得られた値の平均値にほぼ等しい値である。

つぎに有義波周期 $T_{1/3}$ と平均周期 T_m および $1/10$ 最大波周期 $T_{1/10}$ との関係を求めたところ、 $T_{1/3}\cong T_m\cong T_{1/10}$ なる関係を得た。すなわち $T_{1/3}$ と $T_{1/10}$ の関係図および $T_{1/3}$ と T_m の関係図を作ると、観測値の各点はほぼ $T_{1/3}=T_{1/10}$ および $T_{1/3}=T_m$ の直線上に、点がばらついている。これは非常に興味のあることであり、どの周期を使用してもよいことになるので、われわれは $T_{1/3}$ の周期を使用することにした。周期別有義波高出現回数および出現率を示したのが表-2である。表-2から庄内海岸の冬期の波浪の周期は 6~9 sec のものが全体の約 60% に達し、波高については 0.5~1.0 m の

ものが約 30% であることがわかる。

また平均波高および平均周期を表-2を使用して求めると、1.12 m および 7.78 sec となり、従来多くの人々によって観測された値、および推算値と比較して、波高は小さいようであるが、周期は良く一致している。

3. 波浪の頻度分布

Jasper¹⁾, Putz²⁾, Longuet-Higgins³⁾, Bretschneider⁴⁾らの研究によれば、海洋の波浪の波高分布および周期分布は、観測期間が短いときは、波高および周期は Rayleigh 分布で表わされ、長期間のときは波高および周期は対数正規分布を示すといわれている。すなわち短時間の波浪の変動は、Rayleigh 分布に、長期間の波の変動は対数正規分布にしたがうというのである。これらの関係は外洋における波について得られたものであり、沿岸付近の波についてのものはあまりよく調べられていない。

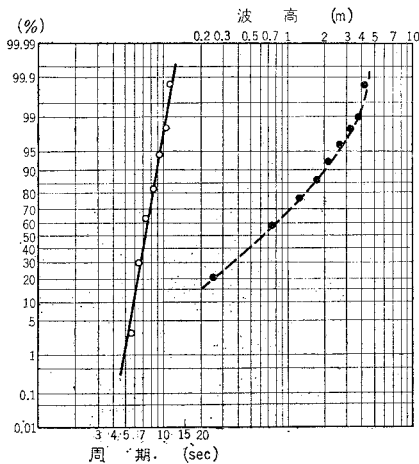
わが国の沿岸付近の波浪については、二、三の報告がなされている。猪瀬・佐藤・白石⁵⁾および白石⁶⁾は、苫小牧における波浪観測から、波高は対数正規分布、周期は正規分布をなすとの結果を得ている。また白石・長谷⁷⁾による新潟海岸の波浪については、波高および周期ともに正規分布で表わされると報告しており、本間⁸⁾による久慈港の観測結果からは、波高、周期ともにほぼ対数正規分布をなしていると報告されている。

庄内海岸における今回の観測資料によって、冬期波浪の有義波高および有義波周期の頻度分布を調べた結果を図-2に示す。図-2から明らかなように、有義波高の分布は Rayleigh 分布に近く、有義波周期の分布は、ほぼ対数正規分布をなす。この結果は前述した新潟海岸における結果と一致していないが、これは観測期間の長短

表-2 周期別有義波高出現回数および出現率

波高 (m) \ 周期 (sec)	波なし	0.49以下	0.50 ~0.99	1.00 ~1.49	1.50 ~1.99	2.00 ~2.49	2.50 ~2.99	3.00 ~3.49	3.50 ~3.99	4.00 ~4.49	4.50 ~4.99	計
5.0~5.9		2 (1.7)	14 (6.7)	1 (0.9)								17 (2.3)
6.0~6.9		60 (50.0)	71 (34.0)	23 (20.5)	3 (5.6)							157 (21.0)
7.0~7.9		44 (36.7)	94 (44.9)	38 (33.9)	14 (25.9)	3 (8.6)						193 (25.8)
8.0~8.9		12 (10.0)	25 (12.0)	34 (30.4)	21 (38.9)	11 (31.4)	4 (19.0)					107 (14.3)
9.0~9.9		1 (0.8)	5 (2.4)	12 (10.7)	11 (20.4)	16 (45.7)	15 (71.4)	5 (41.7)	4 (80.0)	1 (20.0)		70 (9.4)
10.0~10.9		1 (0.8)		4 (3.6)	4 (7.4)	1 (2.9)	1 (4.8)	6 (50.0)		2 (40.0)		19 (2.5)
11.0~11.9						4 (11.4)	1 (4.8)	1 (8.3)	1 (20.0)	2 (40.0)	1 (100.0)	10 (1.3)
12.0~12.9					1 (1.8)							1 (0.1)
波なし	174 (100.0)											174 (23.3)
計	174 (100.0)	120 (100.0)	209 (100.0)	112 (100.0)	54 (100.0)	35 (100.0)	21 (100.0)	12 (100.0)	5 (100.0)	5 (100.0)	1 (100.0)	748 (100.0)

図-2

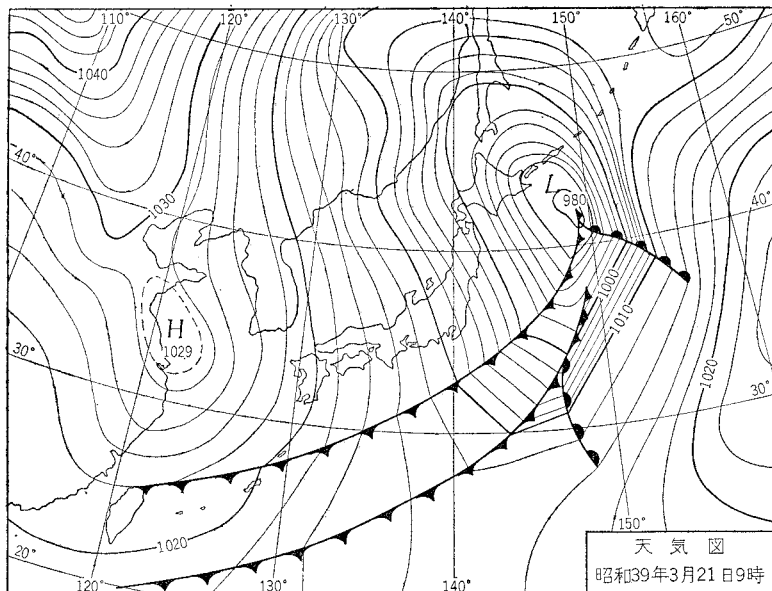


によるものと考えられるが、今後さらに研究すべきことであろう。われわれの今回の観測結果は、海洋での観測結果に近いが、その理由については今後研究すべき問題である。

4. 季節風による波浪

昭和34年1月から昭和38年12月までの5カ年間の酒田測候所における風の自記記録から、毎時の風向、風速の値を読みとり、これらの資料を使用して、風速が5.0 m/sec以上の風につき季節別、月別、風速別などの風向図を作った。その結果、庄内海岸における主風向はNWであり、NNW~WNWの風は全年の約53%に達することがわかった。また風速が11.0 m/sec以上の強風の場合は、約75%がNNW~WNWの方向の風であり、さらにその内の大部分は冬期間に吹くことが明

図-3



らかに示されている。すなわち庄内海岸に吹く強風は、ほとんど冬期の季節風であるということがいえるようである。それゆえ当海岸に來襲する高波は、この冬期の季節風によって生じられるものであり、NW方向から海岸に來襲するものと考えられ、これは実測および現地調査の結果とも一致する。

気象学的にいうと、このような季節風は西高東低型の気圧配置のときに吹くといわれている。つまりシベリア高気圧が大陸に発達し、わが国にはこの高気圧からの寒気が北西の季節風となって流れ込むのである。西高東低が冬の典型的な気圧配置であり、天気は季節風の消長に大きく左右される。西高東低といっても高気圧の位置、および低気圧の位置によって、天気はかなりちがひ、風向、風速もまた異なる。

実際問題として、われわれの観測期間中、高波の來襲したのは西高東低の気圧配置の場合であることは、毎日の天気図を調べることによって知ることができた。今年2月2、3月の中で気圧配置が西高東低型になったのは、2月2、3、4、12、13、14、17、28日、3月21、22、23日などの11日である。ひとたびこのような西高東低の気圧配置になると2~4日ほどつづく場合が多い。もちろん先にのべたように、西高東低の気圧配置といっても高気圧が北にかたよった場合、南にはり出した場合、さらに低気圧がオホーツク海方面で発達する場合およびアリューシャン方面で発達する場合などによって、寒気の吹き出し方がちがってくる。

今回の観測期間中、一番波の荒らかった日は、3月21日であった。図-3はこの日の9時の天気図である。天気図から明らかなように、代表的な西高東低の気圧配置を示し、低気圧がアリューシャン方面で発達しているの、寒気の吹き出しは顕著である。このような気圧配置が22、23日とつづいているうえに、等圧線の方向がこの3日間ほとんど同じ向きに走っているという解析には非常に良い条件をしているので、代表的な季節風の気圧配置とみることができる。それゆえ、われわれはこの21~23日の波浪につき詳しく調べてみた。

21日1時から2時間ごとの波浪観測資料を使用して、2時間ごとの周期の頻度分布曲線を作ってみた。それらの結果の一部は、図-4(a)、(b)に示した。図-4を見てすぐに気のつくことは、20分間

図-4 (a)

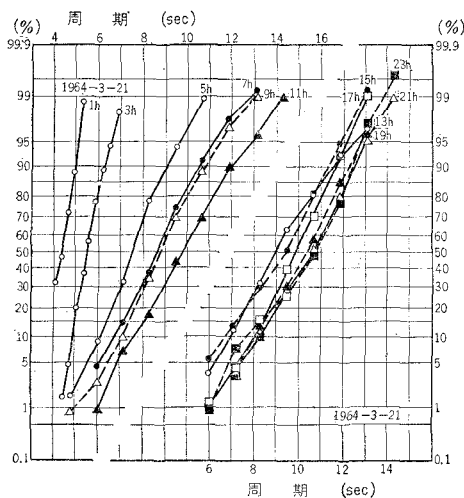


図-4 (b)

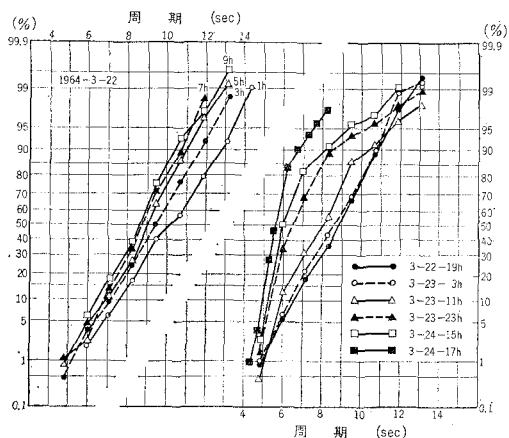
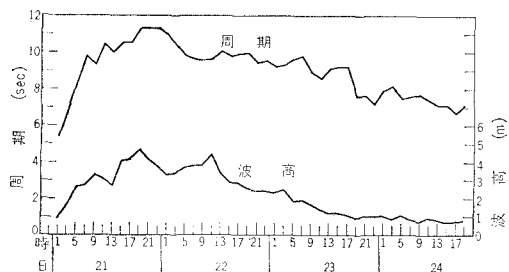


図-5 有義波高, 周期の時間変化



の波浪の周期頻度分布は、ほぼ正規分布に近いことである。また有義波高および有義波周期の時間的変化を示したのが図-5である。図-5から、風波の発達によって、波高、周期ともに増してゆき、21日19時ごろに、波高、周期はともに最大値となり、その後はしだいに減衰してゆき、23日午後には波高および周期は1m程度および8sec程度になる。このような現象は、他の季節風の日にも同様にみられる。

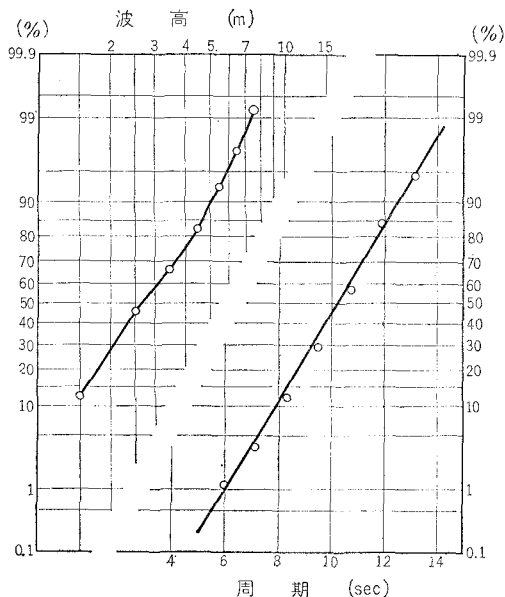
図-6 波高, 周期の頻度分布
(昭和39年3月21日19時)

図-4、図-5を比較してみると、風波の発達とともに周期の頻度分布がどのように変化するかを知ることができる。すなわち図から風波の発達とともに、長い周期の波が発生してくるとともに、平均周期は大きくなり、分散も大きくなっていく。しかしながら分布は常に正規分布を示すようである。波浪の最盛期を過ぎ、減衰期に入ると、平均周期はしだいに小さくなってゆき、分散もまた小さくなってゆくが、山が2つあるような分布型になって、正規分布からはなれる。これは季節風によって生じた波が衰弱する場合、風波よりもうねりの減少率が小さいことを示しており、風波がおさまっても、うねりが長く尾をひいていることを示す。しかし台風の場合とは異なり、うねりのおさまりも早いようである。

このような季節風による波浪の性質は、21~23日の風波についてだけの性質ではなく、他の季節風の場合にも表われているが、他の日々の場合には、時間とともに等圧線の方向が変化しているの、周期分布は正規分布のひずんだ型になる。しかし定性的には良く一致している。21日の最大波の来襲時における波高分布、周期分布を示したのが図-6である。図-6から波高は対数正規分布に近く、周期は正規分布をなすことがわかる。

5. 結 語

今年冬期に庄内海岸で水圧式波浪計によって波浪観測を行なった。これらの観測資料を基にして、特に季節風による波浪の頻度分布を調べたが、資料が少ないので明確なことをのべることはできがたいが、つぎのようなことはいえるものと考え。

① 庄内海岸に來襲する冬期風浪の有義波高および有義波周期は、それぞれ Rayleigh 分布および対数正規分布をする。

② 季節風による波浪の短時間の分布は、周期は正規分布をなし、波高は対数正規分布に近い分布をする。

③ 季節風による有義波高および有義波周期は比例して増大または減少する傾向がある。

④ 季節風によって生起する波浪の周期は、常に正規分布をなし、風波の発達によって影響されないようである。

最後に本研究を行なうにあたり使用した現地観測の資料は東北地建酒田工事事務所よりの委託調査として実施したもの的一部分であることを付記する。

参考文献

- 1) Jasper, N.H.: Statistical Distribution Patterns of Ocean Waves and of Wave-Induced Ship Stresses and Motions, with Engineering Application, Trans. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1956.
- 2) Putz, R.R.: Statistical Distribution for Ocean Waves, Trans. A.G.U., Vol. 33, 1952.
- 3) Longuet-Higgins, M.S.: On the Statistical Distribution of the Height of Sea Wave, Jour. Marine Res., Vol. 11, 1952.
- 4) Bretschneider, C.L.: Revisions in Wave Forecasting, Deep and Shallow Water, Proc. of 6th Conf. on Coastal Engr., 1957.
- 5) 猪瀬寧雄・佐藤清一・白石直文: 苫小牧港の漂砂について (第1報), 第3回海岸工学講演会講演集, 1956.
- 6) 白石直文: 港湾建設に関連する海岸漂砂の調査について, 第4回海岸工学講演会講演集, 1957.
- 7) 白石直文・長谷直樹: 新潟港テトラポッド防波堤の設計・施工について, 土木学会誌, Vol. 44, 1959.
- 8) 本間 仁・堀川清司・鮮干 澈: 波浪, 漂砂および海浜変形について, 海岸工学講演会講演集, 1959.