

多峯型方向スペクトル波が港内静穏度に及ぼす影響

高橋 英紀*・高山 知司**・永井 紀彦***

広く外洋に面した港湾では、多方向から波が同時に来襲することが少なくない。この場合 2 つ以上のピークを含む多峯型方向スペクトルとなる。現在、この種の波は予想以上に多く現れることが明らかになっているが、多峯型であっても単一の代表波で表されているのが現状であり、この代表波を用いて解析すると港内静穏度などにおいて大きな誤差が含まれる可能性が高い。本研究では、御前崎沖で観測された 1 年間の波浪データを用いて、多峯型波浪が御前崎港の波高や静穏度にどのような影響を与えるかを調べた。その結果、御前崎においては全ての波浪を単一の代表波とした場合、低気圧が接近したときの港内波高を小さく見積もってしまうことがわかった。

1. はじめに

海の波は不規則であり、1 つの代表波だけでその特性を表すのではなく、スペクトル解析によってより詳細な特性を明らかにする必要がある。スペクトル中に 1 つのピークだけをもつ単峯型方向スペクトルの場合には、多くの調査結果に基づいてスペクトルと代表波の諸元の関係が明らかにされている。しかしながら、異なる周期と波向の波群が重なって生じる多峯型方向スペクトルの場合であっても、単一の代表波に置き換えることが一般的に行われている。高山ら (2000) によるとこの種の波は予想以上に多く現れることがわかっており、単一の波に置き換えると港内静穏度や船舶係留の条件設定などの解析において大きな誤差が含まれると考えられる。つまり、多方向性波浪を単一の波で代表させた場合、その平均波向で 2 つ以上のピークの波向を表すことができない。それに加えて、スペクトル全体を積分して平均波向を算定すると、方向集中度の大きい波群や周期の短い波群の影響を強く受けしてしまうことがわかっている (永井ら, 1992)。また、長期間における港内静穏度を求めるに当たって、モンテカルロ法などによって多くの波浪諸元を再現することが行われる場合があるが、スペクトル自体を乱数などによって再現するのは非常に困難なので、その特性を幾らかの数値で代表し再現することが必要となる。

そこで本研究では、御前崎沖で観測された波浪データから方向スペクトルを算定し、スペクトル中の各ピークに代表波をあてはめることによって多峯型を考慮した諸元を求めた。この波浪諸元から御前崎沖における波浪の出現特性を明らかにした。また、モデル化した御前崎港に観測波浪と単一の代表波、ピーク数と同数の代表波を重ね合わせた合成波を入射して、港内波高と静穏度を算定し比較した。観測波浪と単一の代表波を入射した結果から多峯型方向スペクトルが港内静穏度に及ぼす影響

を、観測波浪と単一の代表波、複数の代表波を重ねた波を入射した結果から多峯型方向スペクトルを複数の代表波で表した場合の多峯型方向スペクトルの再現性を明らかにした。

2. 解析資料と波浪諸元の計算方法

(1) 解析資料

本研究で使用した波浪データは静岡県御前崎沖で観測されたものであり、1998 年 9 月～1999 年 8 月の 1 年間のものを用いた。観測データは海象計による 3 方向水粒子速度と水位変動であり、これから拡張最大エントロピー法 (EMEP) を用いて方向スペクトルを推定した。EMEP 法による方向スペクトルの推定精度は EMLM などの既往の方法と比べて極めて高く、多方向に複数のピークを有する方向スペクトルを判別することが可能である (橋本ら, 1993)。方向スペクトルは 4 時間毎に求めて約 2100 個使用した。ただし、1 年間で 14 個の欠測があった。

波浪データは岸から約 2.5 km の地点に設置された海象計によって得られており、その設置水深は約 23 m である。図-1 にその概略位置を示している。海象計とは、海底に設置した超音波送受波器から異なる 3 方向に超音波を発射し、そのドップラーシフトから水粒子速度を測定するとともに、鉛直上方の海面の水位変動を測定する装置である (高山ら, 1992)。観測地点の南には浅瀬があり、外洋から来襲する波浪は砕波したり、大きく屈折されることが考えられる。

(2) 波浪諸元の計算方法

波浪の方向スペクトルにおいて、スペクトルのピークが 1 つだけ存在するものを単峯型方向スペクトル、2 つ以上のピークを持つものを多峯型方向スペクトルと呼ぶことにする。方向スペクトルが多峯型の場合は、スペクトルピークに対応して異なる周期と波向の波群が重なったものであるため、各波群毎に波浪諸元を求め波浪の特性を調べる。多数の方向スペクトルに関して、単峯型か多峯型かを判断し波浪の諸元を求めるためには、判定基準を決め計算機によって高速に処理することが必要に

* 正会員 工修 (独法) 港湾空港技術研究所地盤改良研究室

** フェロー 工博 京都大学教授 防災研究所

*** 正会員 工博 (独法) 港湾空港技術研究所海象情報研究室

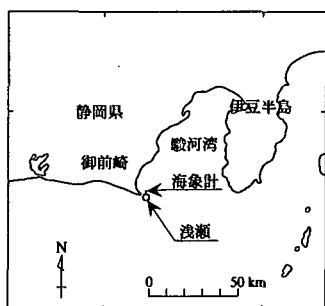


図-1 御前崎沖観測点

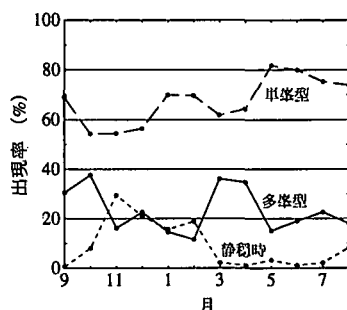


図-2 各方向スペクトルの月別出現率

なってくる。本研究では以下に示すような順序に従って波浪諸元を算定した。

- 1) Bretschneider・光易型の周波数スペクトルに光易型方向関数を掛け合わせたものを、波の方向スペクトルと仮定する。有義波高 30 cm, 周期 5.0 s, 方向集中度パラメータ $S_{max}=10$ としたときの方向スペクトルのピーク強度は $0.0383 \text{ m}^2 \cdot \text{s}$ となる。30 cm 以下の波が全体に与える影響は小さいので、スペクトルピーク強度が $0.0383 \text{ m}^2 \cdot \text{s}$ 以下のものは切り捨てた。
- 2) 各ピークを囲む範囲内で積分し、波浪の諸元を有義波高と平均周期、平均波向で代表させた。各ピークに対して 1 つの波浪をあてはめるため、2 つ以上のピークを持つ多峯型方向スペクトルについても解析が可能である。
- 3) 2 つのピークが近い場合、2 つの谷のスペクトル強度が低い方のピークの 0.3 倍以下ならば 2 つは異なる波群と考えた。逆に、低い方のピークの高さの 0.3 倍以上ならば同じ波群とした。

3. 御前崎沖における波浪の出現特性

単峰型と多峰型方向スペクトルの占める割合を図-2 に示した。有義波高 30 cm 以上の波群が来襲しなかった静穏なときの方向スペクトルの割合も合わせて示した。多峰型方向スペクトルは年平均で 23% 発生している。特に、9~10 月に 31~38%、3~4 月に 35~36% と多く発生しており、それぞれ台風と移動性低気圧によるものだと考えられる。

方向スペクトル中の各ピークに対して 1 つずつ代表波をあてはめ波浪諸元を求めた。有義波高と平均波向の出現特性を図-3 に示しており、1 つの波群が図中の 1 点に対応している。平均波向をみると、御前崎沖には N~SSW の方向から多くの波浪が来襲している。ただし、図-3 から波高が 3 m 以上のような大きな波は、主に SE 方向から来襲することがわかる。SE 波の平均周期は 4~15 s と短いものから比較的長いものまであった。つま

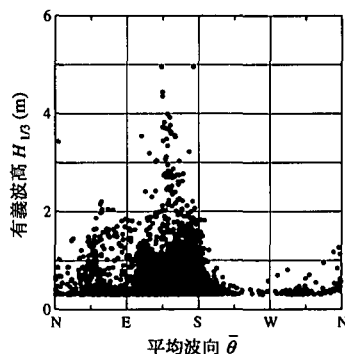


図-3 波浪諸元の出現特性

り、SE 方向から風波やうねりが外洋から来襲していると推測できる。御前崎沖は太平洋に面しているので、大きな波は外洋から S 波として多く来襲すると考えられる。それに反して外洋からの波が SE 方向から来襲しているのは、観測点の南側の浅瀬による屈折や碎波のために、波向が S から SE と変わったためである。一方、N~E 方向からの波の周期は 3~6 s と SE 波に比べて短い。観測点の東側約 40 km に伊豆半島が存在し、N~E の方向は伊豆半島方向となることから、N~E 波は駿河湾内で発達した風波であると考えられる。

日本列島付近を通過する低気圧には、シベリア方面に発生する低気圧以外にも揚子江方面に発生する低気圧や東シナ海低気圧がある。揚子江方面に発生する低気圧は 1~6 月に、東シナ海低気圧は 2~4 月に発生する。これらの低気圧の東側では北~東の風が吹くことが多い。つまり、御前崎沖の西側に低気圧が近づくと駿河湾には北~東の風が吹く。この風によって生じた N~E 波が御前崎に来襲する。また、北~東の風に加えて低気圧の南側で南風が吹く。これによって生じた S 波も SE 波として同時に来襲し多方向型の多峰型方向スペクトルとなる。例として、低気圧が御前崎付近を通過したときの波向の時系列を図-4 に示す。この図から、低気圧が近づくと多方向型の多峰型波浪が来襲するようになることがわかる。

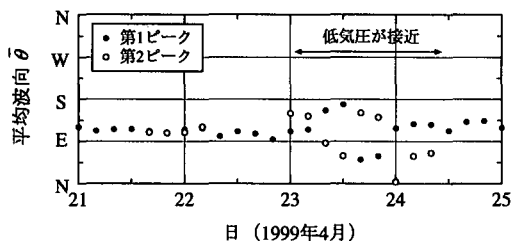


図-4 低気圧が通過したときの波向時系列

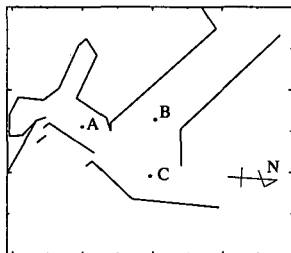
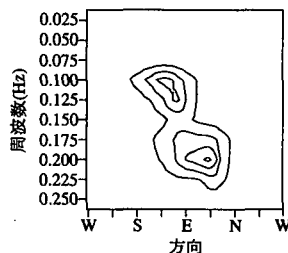


図-5 御前崎港の防波堤配置図

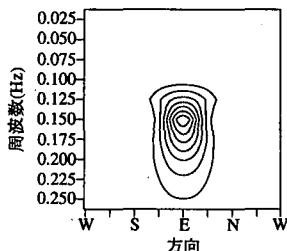
4. 多峯型波浪の港内への影響

(1) 港内への入射波の種類

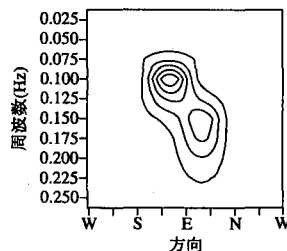
港内の波高分布を求める場合、波浪はすべて単峯型方向スペクトルとして解析されてきた。しかしながら、来襲波浪には多峯型方向スペクトル波が多く含まれる。多方向型の多峯型方向スペクトル波を単峯型として扱うと、港内静穏度などの計算に大きな誤差を含む可能性がある。モデル化した御前崎港に数種の波を入射させて、多峯型方向スペクトル波を単峯型として扱った場合の誤差を調べてみた。ただし、図-5に御前崎港の防波堤配置と波高の計算地点(図中のA~C)を示している。入射した波浪は、御前崎沖で観測された波浪とスペクトル全体を単一代表波で置き換えた波浪、スペクトルピークと同数の代表波を重ね合わせた波浪である。この3種類の波浪の方向スペクトルの一例を図-6の(a)~(c)に示している。これらは温帯低気圧が御前崎に接近し、観測点に多峯型方向スペクトル波が来襲した1999年4月19日0時のものである。(a)の観測方向スペクトルは、有義波周期が約6sのNE波と約10sのSE波によって構成されている。(b)の単一の代表波に置き換えた場合は、周波数スペクトルとしてBretschneider・光易型を方向関数として光易型を使用し、掛け合わせることによって方向スペクトルを算定した。(c)の2つの波に代表させた方向スペクトルは、それぞれの代表波に対して(b)に示した方法でスペクトル形を求め、それらを重ね合わせることによって算定した。港内波高の計算には、回折を考慮した多方向不規則波の浅海変形モデルであるEBALDIF(間瀬ら, 1999)を使用した。ただし、水深は-12mで一樣



(a) 観測波浪



(b) 単一代表波



(c) 複数の波の合成波

図-6 入射した波浪の方向スペクトル

とし水深データのメッシュ間隔は20mである。

(2) 港内静穏度の比較

港内の静穏度について調べてみた。表-1~3は、波高が30, 50 cm よりも大きくなった回数が、全体(1年間)に占める割合(%)を示したものである。順に、観測波浪、単一の代表波、ピーク数に応じた代表波を入射させた場合のものである。本研究で利用した御前崎港の防波堤配置は現計画の完成状態のものを用いたため、実際よりも波高は小さく算定されていると考えられる。表-1からも、波高が50 cmを超えることは2%以下で非常にまれであることがわかる。多峯型方向スペクトルが及ぼす影響についてであるが、表-1~3から単一の波群に置き換えて計算した場合、NE波の影響を強く受けるC地点では静穏度が実際より小さく見積もってしまうことになる。例えば、C地点における波高が30 cm以上の時間の割合を比べると、表-1~3の順に6.51, 3.55, 5.08%である。また、50 cm以上の割合は、1.94, 0.78, 1.57%である。したがって、多峯型方向スペクトル波が来襲する場合、単一の波浪に置き換えると実現象にあっていな

表一 観測波浪を入射した場合の静穏度(%)

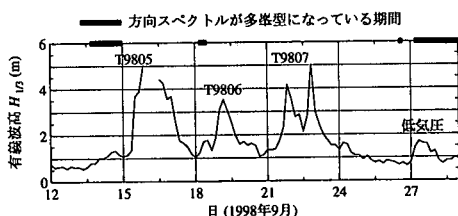
	波高 30 cm 以上	波高 50 cm 以上
A地点	2.72	0.33
B地点	4.52	1.48
C地点	6.51	1.94

表二 単一代表波を入射した場合の静穏度(%)

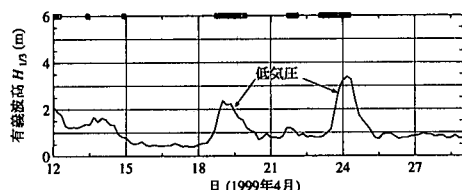
	波高 30 cm 以上	波高 50 cm 以上
A地点	1.71	0.09
B地点	4.59	1.48
C地点	3.55	0.78

表三 2つの代表波を入射した場合の静穏度(%)

	波高 30 cm 以上	波高 50 cm 以上
A地点	2.26	0.18
B地点	5.03	1.20
C地点	5.08	1.57



(a) 9月の台風接近時



(b) 4月の低気圧通過時

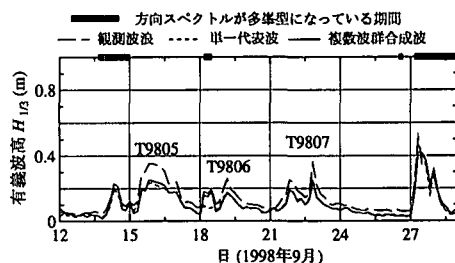
図一七 港外での波高の時系列

いと考えられる。これは、単一の波浪に置き換える場合、NE波とSE波の波向を平均化してしまい本来の波向を表せないためである。

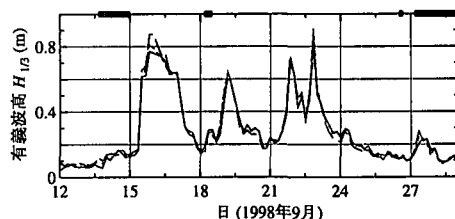
これから、多峯型方向スペクトル波を単峯型として港内静穏度を計算するとかなり大きな誤差が含まれることがわかった。

(3) 港内波高の比較

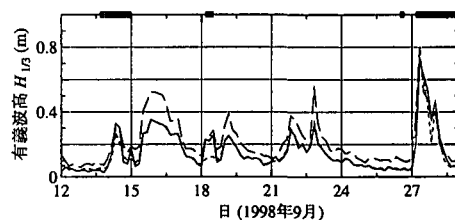
図一七(a)の1998年9月においては、T9805とT9806、T9807の3つの台風が来襲し $H_{1/3} > 3\text{m}$ の波が発生しており、最大はT9805で波高のピーク時に欠測になっているが極大波は5mであったと推測できる。台風によって来襲した波の向きは主としてSE方向である。多峯型方向スペクトル波の発生した時刻は太い黒線で示しているが、これでわかるように台風による波浪は



(a) A点



(b) B点



(c) C点

図一八 9月の台風接近時における推定港内波高

多峯型スペクトル波になっておらず単峯型である。多峯型になっているのは、台風による波浪が到達直前の9月14と18日であり、これ以外では9月27日以降における低気圧が接近している時である。つまり、御前崎沖では台風による波は単峯型であり、多峯型になるのは台風来襲前か低気圧が来襲したときである。図一七(b)の1999年4月については、4月19と24日に低気圧が来襲して2m以上の波が生じている。この低気圧による波浪はこの図に示すように多峯型スペクトル波になっている。それ以外ではほとんど単峯型である。このように御前崎沖では、主に低気圧が接近するときに多峯型スペクトル波は発生する。

観測方向スペクトル波を御前崎港に入射しEBALDIFによって港内波高を求めた。9月の台風来襲時のA、B、C点における港内波高の時系列を図一八(a)～(c)に示している。観測波浪を入射させたときの波高を破線で、単一代表波を点線、複数波群の合成波を実線で示している。9月15～24日の期間中、台風によって港内のB点の波高が80cmと他の地点よりも大きくなっている。これに対して、27日には低気圧によってC点の波高が80cmと大きくなっていることがわかる。台風による波浪は屈折

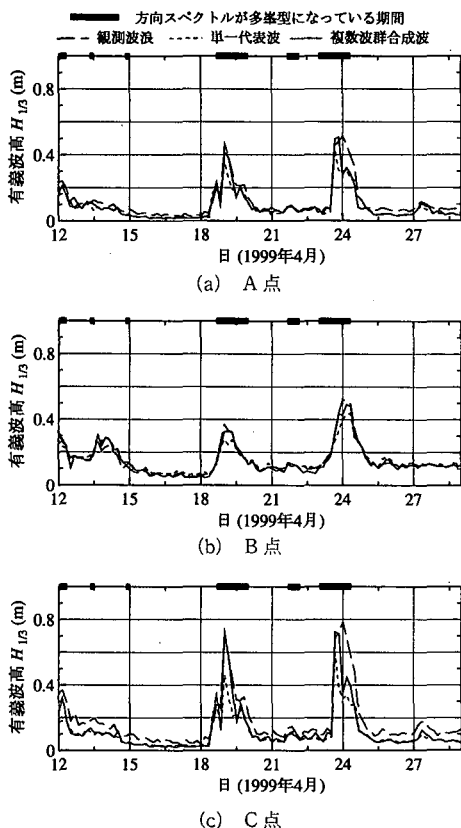


図-9 4月の低気圧通過時における推定港内波高

の影響を受けSE波として御前崎港に来襲するが、低気圧による波浪は、外洋からのSE波に加え温暖前線前の北～東風によって生じるN～E波があり多峯型となる。御前崎港の防波堤配置からC点はNE波の影響を強く受けると考えられ、台風よりも温帯低気圧によってC点の波高は大きくなる。4月の低気圧来襲時の波高時系列を図-9(a)～(c)に示しているが、これからも低気圧によってC点の波高が最も大きくなることがわかる。

台風が来襲した9月16～17日と19、22～23日は単一の波群に置き換えた場合と多峯型を考慮した場合の波高に大きな差がないことが図-8からわかる。例えば、9月16日0時のB点の波高は、入射波が観測波浪、単一代表波、複数波群合成波の順に87 cm, 80 cm, 79 cmである。これに対して、温帯低気圧によってNE波とSE波が同時に来襲するような場合、単一の波群に置き換えるとC点において波高を小さく見積もってしまうことが図-9

(c)からわかる。例えば、4月19日0時の波高は、入射波が観測波浪、単一代表波、複数波群合成波の順に72 cm, 48 cm, 70 cmであり、単一の波に置き換えた場合24 cmも小さく見積もっている。代表波を重ね合わせた場合の波高は2 cm小さく見積もっているだけであり、観測波浪の特性を再現できていると考えられる。

各波群に対して代表波をあてはめ重ね合わせることによって、多峯型方向スペクトル波の特性をある程度表せることがわかった。これによって、モンテカルロ法から波浪諸元を再現し長期間における港内静穏度を求めることが可能となる。

5. おわりに

本研究では、御前崎沖で観測された波浪データを用いて多峯型方向スペクトル波を含めた波浪の出現特性を示した。また、観測波浪と単一代表波、複数波群合成波を御前崎港に入射して港内波高を比較した。その結果、低気圧の接近によって発達するN～E波の影響を受けやすい地点では、単一代表波で置き換えた場合の波高を小さく見積もってしまうことがわかった。多くの低気圧が御前崎付近を通過するので、単一代表波で全ての波を表すと港内静穏度に大きな誤差を含むことになり、多峯型を考慮することが重要なことが明らかになった。今後は、波浪が観測されていない地点での港内静穏度を推定するために、外洋からの来襲波浪を統計的に再現する手法を構築するつもりである。

最後に、方向スペクトル算定プログラムを(独法)港湾空港技術研究所の橋本典明室長に提供を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 高山知司, 橋本典明, 永井紀彦, 高橋智晴, 佐々木弘(1992): 水中ドップラー式波向計(海底設置式波浪計)の開発について, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 176-180.
- 高山知司, 高橋英紀, 永井紀彦(2000): 御前崎沖における多峯型方向スペクトル波の出現特性, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 76-80.
- 永井紀彦, 橋本典明, 浅井 正(1992): 沖波の方向スペクトルの出現特性(第1報), 港研報告, 第32巻, 第2号, pp. 65-89.
- 橋本典明, 永井紀彦, 浅井 正, 菅原一晃, 久高将信, 小野修平(1993): 方向スペクトルの推定における最大エントロピー原理法(MEP)の拡張, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 136-140.
- 間瀬 肇, 高山知司, 国富将嗣, 三島豊秋(1993): 波の回折を考慮した多方向不規則波の変形計算モデルに関する研究, 土木学会論文集, 第628号, II-48, pp. 177-187.