

台風 9918 号における我国沿岸波浪の出現特性

永井紀彦* 橋本典明**・佐藤和敏***
鈴山勝之****・久高将信*****

1. はじめに

1999 年 9 月 23 日から 24 日にかけて九州・山口地域に接近・上陸した台風 9918 号は、港湾・海岸施設や沿岸域に甚大な被害をもたらした。本研究は、台風 9918 号来襲時に全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス：NOW-PHAS：Nationwide Ocean Wave information network for Ports and Harbours）で収集された気象・海象観測データを解析し、沿岸における波浪と潮位の出現特性を検討し、今後の防災対策等のための基礎資料として資することを目的としている。

2. 台風 9918 号の経路と特性

図一は、沖縄近海から九州・山口地域を経て日本海に至る、9 月 23 日 0 時から 24 日 12 時に至るまでの台風の経路図である。中心気圧は、23 日の 0 時と 12 時で最も低い 930 hPa であったが、その後も勢力を保ち、24 日未明の有明海通過時には 940 hPa 程度、24 日早朝の周防灘通過時には 955 hPa 程度であった。

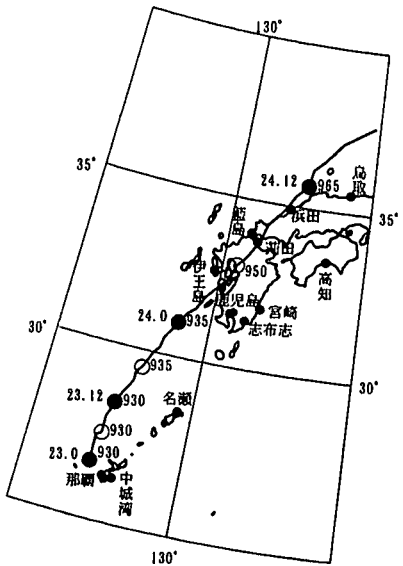
3. 海象状況の概要

表一は、本研究で対象とした沿岸波浪の観測条件を示したものである（菅原ら、1999）。ナウファスの波浪観測機器は、海底 50 m 程度に設置された超音波式波高計（USW）を標準としている。しかし、波向き観測を並行して実施する際には、流速計型波向計（CWD）によって海底における水平流速を測定する方式が取られたため、屈折の影響を経た後のいわゆる浅海波を観測せざるを得なかった。近年、波高・周期と波向きを 1 台のセンサーで観測することができる海象計（橋本ら、1995）が実用化され、沖波の方向スペクトル観測の精度と信頼性が向上した（永井、1998）。表中の観測地点では、高知と鳥取に海象計が導入されている。

図二および図三は、表一に示す各観測地点の有義

波高と有義波周期の経時変化を、太平洋沿岸と日本海・東シナ海沿岸についてそれぞれ示したものである。台風の通過に伴う波高・周期の時間変動は、内湾の観測点の鹿児島（●）、苅田（□）では、短時間のうちに急激に波高・周期が発達・減衰する顕著な特徴が見られた。これに対して、外洋に面した観測地点では、比較的波浪の発達と減衰が緩やかではあったが、その経時変化特性は、観測地点毎に大きく異なっている。すなわち、東シナ海側の名瀬（●）では、台風の接近により波高が急速に増大したが、台風通過後の減衰は緩やかであった。伊王島（■）の最大有義波高は 2 m 程度であったにもかかわらず、周期は 16 秒程度と各検討地点中の最長の値を示し、台風中心の通過後の周期は急速に減少した。

一般的には、日本海・東シナ海側に比べて太平洋側の方が、有義波高の経時変化図には顕著なピークが見られたが、その時刻は台風中心の最接近時刻とほぼ一致している。すなわち、中城湾では 23 日 0 時に有義波高がピークとなったが、志布志や鹿児島では 24 日の 2 時から 4 時に、苅田では同日 6 時から 8 時に、高知では 10 時に、そ



図一 台風経路図

* 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所水工部海象調査研究室長
** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所海洋環境部水理研究室長
*** 運輸省港湾技術研究所水工部海象調査研究室
**** (株)エコー波浪情報室
***** 正会員 (株)エコー部長・波浪情報室長

表一 波高計の機種と設置条件

地点名	観測機器設置地点			
	機種	水深	北緯	東経
那覇	USW	51.0	26°15'14"	127°38'58"
	CWD	42.0	26°15'27"	127°39'29"
名瀬	USW	50.0	28°27'00"	129°31'35"
伊王島	USW・CWD	30.0	32°42'47"	129°45'23"
藍島	USW	20.7	34°00'34"	130°47'36"
浜田	USW	51.0	34°54'07"	132°02'21"
鳥取	海象計	30.0	35°33'05"	134°09'51"
中城湾	USW	46.0	26°14'14"	127°58'10"
鹿児島	USW	23.0	31°33'02"	130°34'30"
志布志	USW・CWD	35.0	31°24'51"	131°06'55"
宮崎	USW・CWD	29.0	31°49'08"	131°35'07"
荇田	USW・CWD	9.0	33°47'47"	131°04'29"
高知	海象計	25.0	33°28'48"	133°35'12"

USW：超音波式波高計 CWD：超音波式流速計型波向計

海象計：超音波ドブラー式波浪計

それぞれピークが見られた。

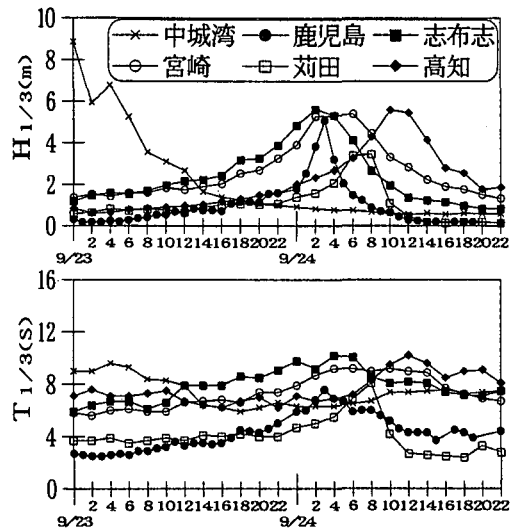
図一は、沿岸の各潮位観測地点における、観測潮位と天文潮位との差、すなわち、高潮偏差の経時変化を示したものである。上段の図の中城湾では、22日18時から有義波高がピークとなった23日0時にかけて偏差が70 cm程度のピーク値となったが、その後は波高減衰とともに偏差も低下した。鹿児島や志布志では、24日6時前後に偏差が60から80 cm程度の弱い極大値を示したが、この時刻は波高のピークよりも少し後である。これに対して、中段および下段の図の八代、荇田、宇部、松山の各検潮所では、1 mから2 mにも及ぶ非常に高いピークが台風の最接近時刻頃にそれぞれ見られ、顕著な高潮が発生していたことがわかる。

4. 周波数スペクトルと方向スペクトルの出現特性

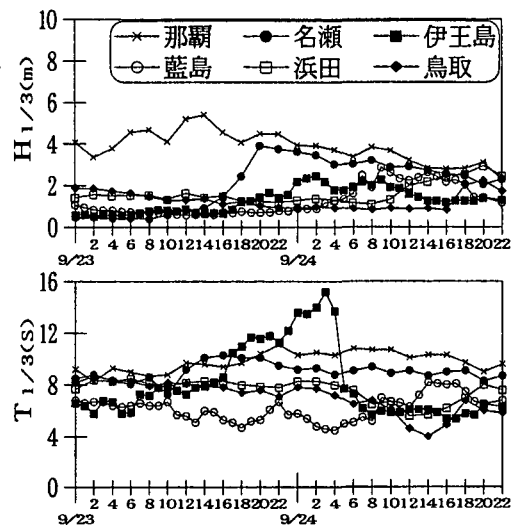
(1) 周波数スペクトル

図一5は、鹿児島・荇田および高知の各波浪観測地点における、台風最接近前後の周波数スペクトルを示したものである。鹿児島と荇田では、強風のため海の表面付近にしおきや泡が多く立っていた海況であったためと推定されているが、超音波式波高計では水表面を定義できず波形がよく現れていなかった。このため、並行設置されている水圧計による観測結果をもとに、表面波形の再現を行った(橋本ら, 1993a; 菅原ら, 1997)。

鹿児島では、24日3時の観測波浪が、その2時間前後の1時および5時の観測値に比べて、極端にエネルギーが高くなっており、また、そのピークとなる周波数も低くなっていることがわかる。この時のピーク周波数は0.12 Hz (8.3 s)程度であった。一方、荇田では、6時の観測と8時の観測で、ほぼ同レベルのエネルギーとなっ



図一2 有義波高と周期の経時変化 (太平洋側)



図一3 有義波高と周期の経時変化 (日本海側)

ていたが、前後の4時および10時の波浪に比べて、この2観測だけが極端に高波浪状態となっていた。6時におけるピーク周波数は0.12 Hz (8.3 s)程度であったが、8時には0.1 Hz (10 s)程度にまで低周波数側に移っており、急激に発達した波浪場がよくわかる。

他方、内湾ではなく太平洋に直接面している高知では、図一2にも示されたように、比較的経時変化が緩やかであったために、4時間毎に周波数スペクトルを表示している。最もエネルギーが高かった10時から14時にかけての周波数スペクトルはほぼ定常であり、ピーク周波数は内湾の観測地点より低く0.083 Hz (12 s)であった。

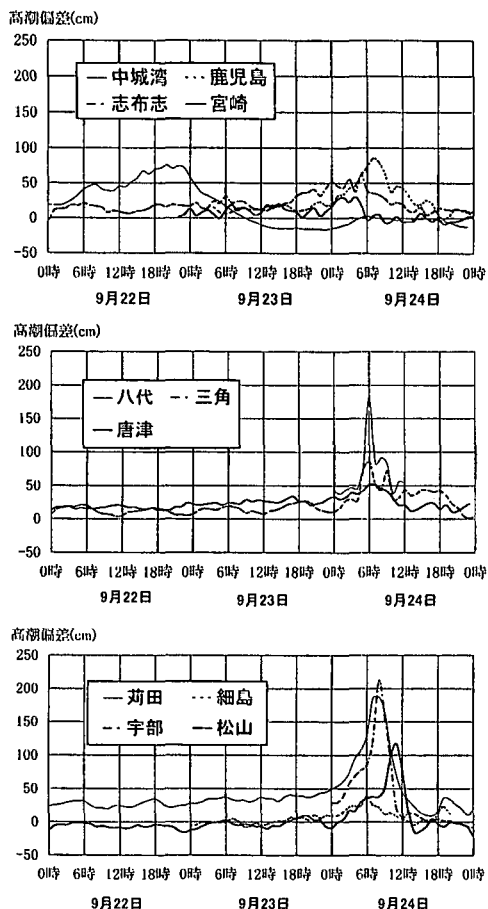


図-4 各観測所における高潮偏差

(2) 方向スペクトル

図-6 は、菊田および高知における方向スペクトルの演算結果をもとに、周波数について積分を行い、台風最接近時前後の波エネルギーの方向分布特性をとりまとめたものである(橋本ら, 1993b)。ただし、菊田と高知では、波エネルギーの大きさが異なるため、上下の図で縦軸の値が異なったものとなっている。

菊田では、周防灘内の海岸線によって決まる最も吹送距離の長い E 方向からの波エネルギーが顕著であり、他の方向からの波エネルギーは E 方向に比べて桁違いに小さな値となっている。ただし、台風最接近直後の 8 時には、陸側の SW 方向からの弱いエネルギーも見られるが、これは風向急変に伴って発生した風波成分と思われる。

高知では、2 時から 14 時にかけての間、ほぼ相似な方向分布を示し、菊田より広い方向から波エネルギーが来襲している。これは、海象計では EMLM による方向スペクトル算定ソフトが標準的に装備されており、このソフトが波エネルギーの方向分布を実際よりも広く算定する

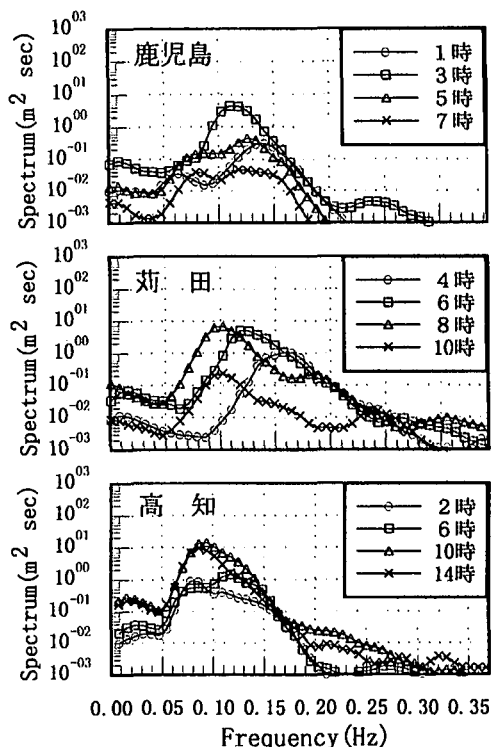


図-5 周波数スペクトルの時間変動

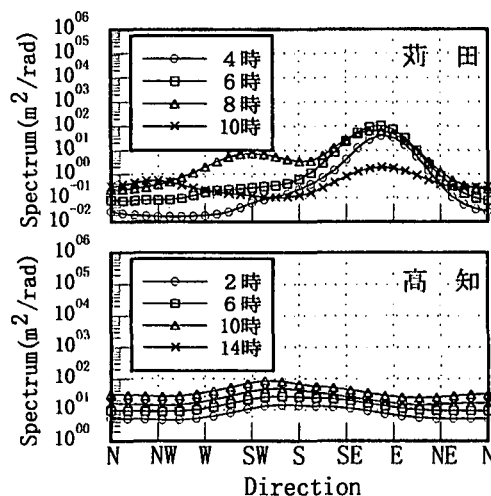


図-6 方向スペクトルの積分値の時間変動

特徴を有することにも、起因するものと思われる。

図-7 と図-8 は、それぞれ、菊田および高知における方向スペクトルの演算結果を表示したものである。ここでは、方向および周波数に関する積分結果を、対数軸ではなく実軸で、各図の上側と右側にあわせて表示している。ただし、積分値の表示は、各観測毎のピークの値で

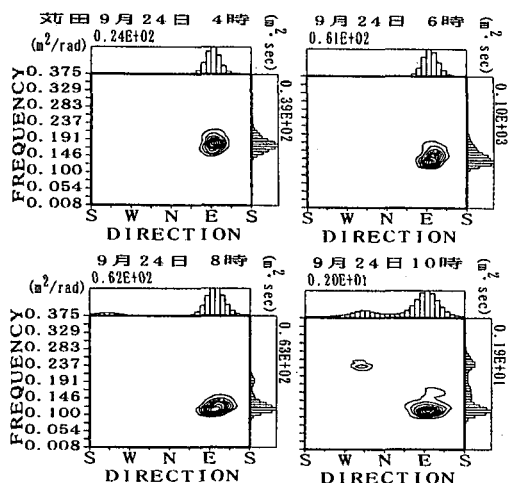


図-7 荻田における方向スペクトル

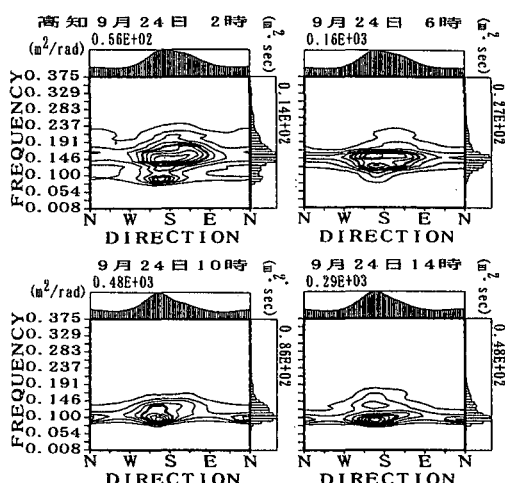


図-8 高知における方向スペクトル

正規格化しているため、観測時刻毎の波エネルギーの大きさを比較できるものではない。

図-7を見ると、図-6より一層鮮明に、荻田における来襲波浪は、E方向からの狭い範囲の方向に集中していることがわかる。また、4時から8時にかけて波が発達するに従い、ピーク周波数が次第に低周波数側に移動していく状況もよくわかる。しかし、台風が過ぎ去り波浪が減衰期になると、10時の観測値からわかるように、スペクトルのピーク周波数は、8時のピーク時点のものとほとんど同じ値になっている。

図-8の高知では、24日2時のスペクトルは顕著な双峰型であった。両ピークはどちらもS方向であるが、0.15 Hz (7 s) 程度の周期の短い風波と、0.83 Hz (12 s) 程度の周期の長いうねりが共存していた。その後、風波成分が発達し長周期側にピークがシフトして行くに伴って、単峰型の形状に方向スペクトルは変化し、図の右側に表示される周波数分布が次第に鋭いピークを持つように形状が変化している。

このように、方向スペクトルを追うことによって、図-2や図-3のように有義波高と周期を見るだけでは理解することが困難な、複雑な波浪場の時間変化を、より明確に把握することができた。

5. 荻田における波浪・潮位に関する考察

図-9は、荻田における潮位と風速の経時変化を示したものである。潮位としては、観測潮位に加えて天文潮位も併せて表示している。9月24日は大潮近傍となる日であり、8時頃が満潮であった。風速変動を見ると、8時前後に風速が弱くなっており台風の目に入ったことがわかる。すなわち、荻田では、天文潮による大潮の高潮位となる時刻と、台風の中心の通過時刻が重なったため、

観測潮位と天文潮位の差として示される高潮偏差も、8時直前に2 m近い最大値を示した。この時の荻田における平均水位は、天文潮に偏差を加え、DLを基準にして5.5 mにも及んだ。前述した方向集中度の高い高波浪の来襲に加えて、極端に水位が上昇したことが、荻田の港湾施設の被災をもたらしたと考えられる。

図-10は、沖合波浪観測点における水圧変動記録から求めた荻田港沖合の平均水位と、港内検潮所で観測された潮位との比較を試みたものである。上段は、台風の来襲以前の静穏海況下における両者の比較を示している。沖合波浪高計の水圧記録はDLの基準がないため、静穏海況下で、沖合の水圧変動と港内潮位を比較し、沖合水位の基準を求めた。この結果、両者の差は、3日間を通じてほぼ一定の差(1.3 m)となっていることがわかった。しかし、上段の図に示される水位差の点線を見ると、半日周期でわずかな変動を示している。これは、沖合と港内における潮位の位相差によるものと推定される。

下段は、上段で得られた平均水位差(1.3 m)で補正し、沖合と港内の平均水位変動を比較したものである。台風の中心通過の前後数時間を除けば、白丸と黒丸は非常によく一致しており、沖合と港内の平均水位変動は極めてよく対応している。しかし、24日8時の台風中心通過時には、水圧変動から求めた沖合平均水位は、港内水位に比べて59 cm低かった。

海底に設置された水圧計が感知する水圧は、水圧に海面上の大気圧を加えた値である。図-1からわかるように、荻田港通過時における台風の中心気圧は955 hPa程度と推定されており、通常の気圧である1013 hPaよりも58 hPa程度気圧が低かった。このことから、図-10の下段で現れた59 cmの相違がよく説明できる。これは、適正に気圧補正がなされれば沖合の水圧計は、潮位の観測

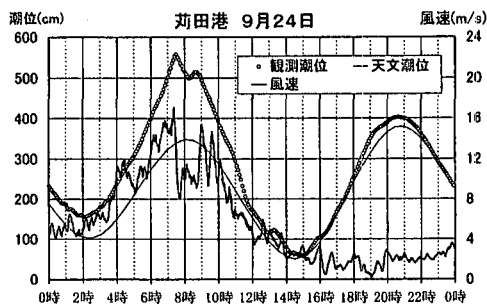


図-9 苅田における潮位と風速

にも適応できる可能性があることを示唆している。

6. ま と め

本研究で得られた成果を、下記にまとめる。

(1) 内湾の観測点である鹿児島と苅田では、短時間のうちに急激に波高・周期が発達・減衰する顕著な特徴が見られた。これに対して、外洋に面した観測地点では、比較的波浪の発達と減衰が緩やかではあったが、その経時変化特性は、観測地点毎に大きく異なっていた。

(2) 沿岸の各潮位観測地点における、観測潮位と天文潮位との差、すなわち高潮偏差は、観測地点毎に大きく異なった値を示した。八代、苅田、宇部、松山の各検潮所では、1 m から 2 m にも及ぶ非常に高い高潮のピークが、台風の最接近時刻頃にそれぞれ見られた。

(3) 方向スペクトルを追うことによって、有義波高と周期を見るだけでは理解することが困難な、複雑な波浪場の時間変化を、より明確に把握することができた。

(4) 苅田では、大潮の高潮位となる時刻と、台風の中心の通過時刻が重なった。高波浪下における極端な水位上昇が、港湾施設の被災をもたらしたと考えられる。

(5) 沖合の波高計に併設された水圧計は、適正な気圧補正によって、沖潮位の観測にも適応できる可能性があることが示された。

7. お わ り に

本研究をとりまとめるにあたって、気象庁、国土地理院、沖縄総合事務局および運輸省第四港湾建設局から、貴重な潮位観測記録のご提供を受けた。また、台風通過

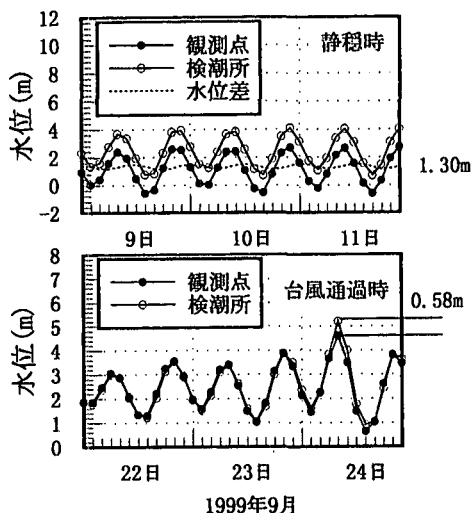


図-10 苅田における沖潮位と港内潮位

時における厳しい海況下で、ここで紹介したような貴重な波浪・潮位観測データが測得できたのは、運輸省の各港湾建設局、沖縄総合事務局、北海道開発局、(社)海洋調査協会、(財)沿岸開発技術研究センターなどの、数多くのナウファス業務担当者の方々の、日常の不断のご努力に支えられたものである。ここに改めて謝意を表する。

参 考 文 献

- 菅原一晃・永井紀彦・橋本典明・鈴木高二郎・清水康男・波間雅晶 (1997): 波浪監視計の開発, 港研資料, No. 860, 25 p.
- 菅原一晃・永井紀彦・佐藤和敏・川口浩二 (1999): 全国港湾海洋気象観測施設台帳(ナウファス施設台帳III), 港研資料, No. 941, 49 p. (付録 339 p.)
- 永井紀彦 (1998): ナウファス (全国港湾海洋波浪情報網) の現況と今後の課題, 土木学会論文集 (技術展望), 第 609 号 VI-41, pp. 1-14.
- 橋本典明・永井紀彦・浅井 正・菅原一晃・朴 慶寿 (1993a): 波浪の多方向性と弱非線形性を考慮した水圧波から表面波への換算法について, 港研報告, 第 32 巻, 第 1 号, pp. 27-51.
- 橋本典明・永井紀彦・浅井 正・菅原一晃 (1993b): 海洋波の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, 港研報告, 第 32 巻, 第 1 号, pp. 3-25.
- 橋本典明・永井紀彦・高山知司・高橋智晴・三井正雄・磯部悠雄・鈴木敏夫 (1995): 水中超音波のドップラー効果を応用した海象計の開発, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp. 1081-1085.