

方向スペクトルを考慮した近接観測点における 波浪関連の検討事例

永井紀彦*・上田裕章**・福岡康宣***・小山良明****

紋別港の北部沿岸に位置する水深 18 m 地点に設置された流速計型波向計による旧観測点と、これを南側に約 20 km 移設した水深 50 m 地点における海象計による新観測点とにおける波浪条件の相違と相関性を、1 年間の並行観測が行われた記録を活用し、検討した。1 年間にわたる 2 時間毎の 20 分間 0.5 s 間隔の同時波浪観測記録 (各約 4000 観測記録) について方向スペクトルを算定し、周期帯毎の対応波高と波向でその結果を整理した。この結果、両観測点の相関性は、周期帯毎に異なる特性となることが明らかにされた。そして、周期帯成分波向毎に波高相関比を求めて旧観測地点の波高を推定する換算法を提案した。

1. はじめに

安全かつ信頼性の高い海域利用計画の策定や施設設計条件の把握のためには、出現波浪の長期統計解析結果が重要になるので、沿岸域における波浪観測は長期間にわたって、同一条件で継続されることが望ましい (合田, 2001)。しかし、海域の利用形態の変遷に伴って観測点を移設する必要が生ずる場合も、現実には数多い。波浪観測の変更が行われる際は、1 年間程度の並行観測期間を設けて、新旧の両観測条件における波浪の出現特性の相違や、両波浪観測地点における波浪の相関性を、正確に把握しておくことが、波浪統計整備上から望ましい。しかし、海域利用との折り合いや予算の制約等の問題があるので、並行観測が行われる事例は極めて数少ないのが実状である。本研究では、紋別港沖合の波浪観測の地点変更の際に 1 年間の並行観測が行われた記録を活用し、新旧両波浪観測点における波浪条件の相違と相関性を、方向スペクトル情報として検討した事例を紹介する。

2. 紋別港における波浪観測の変遷

紋別港における沖合波浪観測は、港湾の北部沿岸に位置する観測地点で実施されていた。水深 50 m に位置する超音波式波高計 (USW) によって波高・周期の観測がなされ、USW と陸上観測局とを結ぶ海底ケーブルのルート上の水深 18 m 地点に設置された、水圧式波高計と水平 2 成分流速計を一体化した流速計型波向計 (CWD) によって、波向の観測が行われていた (菅原ら, 1999)。

その後、1997 年 7 月に、CWD と USW の間の海底ケーブルが切断されたため、CWD による観測だけが継続されることとなった。しかし、水深 18 m での浅海域での観測によっては、沖波の把握は困難であると考えられたの

で、水深 50 m での観測の再開の必要性が指摘された (永井, 1997)。ただし、現地における漁業活動との調整において、既設の観測海底ケーブルの維持復旧が困難と考えられたため、波浪観測地点を港湾の北側から南側に 20 km 程度移設した上で、1990 年代後期になって新たに開発された、深海波の波向や方向スペクトルの計測が単一の海底設置センサーで可能となった海象計を用いた新たな観測方式 (永井, 1998) が、採用されることとなった。

海象計による新たな観測は、2000 年 10 月に開始されたが、新旧両観測地点における波浪条件の相関性を検討するため、並行観測が 2001 年 10 月までの約 1 年間にわたって実施された。2 時間毎に 20 分間 0.5 s 間隔の同時波浪観測記録が、結氷等によって観測データが取得できなかった場合を除き、新旧両観測地点でそれぞれ約 4000 観測記録について測得された。これらの各観測記録から方向スペクトルを算定し、周期帯毎の対応波高と波向でその結果を整理することによって、新旧両観測点の比較検討を行った。

図-1 は、新旧観測地点の位置を地図上に示したものである。水深 20 m および 50 m の等深線に注目すると、

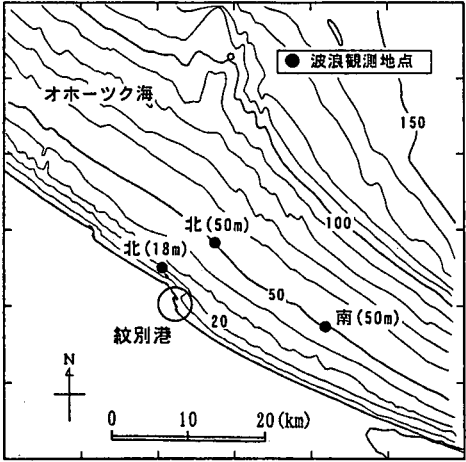


図-1 新旧の波浪観測点の位置図

* 正会員 工博 (独法) 港湾空港技術研究所海洋・水工学海象情報研究室長
** 正会員 北海道開発局港湾空港部港湾建設課港湾技術係長
*** 北海道開発局網走開発建設部築港課長
**** 北海道開発局網走開発建設部紋別港湾建設事務所長

表-3 周期帯の区分

区分	スペクトル順位	対応周期
f_1	1- 4	32 s 以上
f_2	5- 8	25.6 s-16.0 s
f_3	9- 12	14.0 s-10.7 s 以上
f_4	13- 16	9.8 s-8.0 s 以上
f_5	17- 21	7.5 s-6.1 s 以上
f_6	22-128	5.8 s 以下

干の相違が見られるものの、両者は概ねよく一致しており、妥当な換算が行われていることがわかる。

4. 南北波浪観測地点の波候統計の比較

4.1 有義波諸元における比較

図-3 および図-4 は、それぞれ、並行観測期間中の約 1 年間の、南北両波浪観測地点の有義波高および有義波周期の、出現統計を比較したものである。比較にあたっては、北側の水深 18 m における水圧変動記録を、3. で述べたように、水深 50 m における表面波に換算したものをを用いた。なお、月平均統計を整理するにあたっては、50% 以上の測得率を前提条件としたため、流水による影響で欠測が多かった 1 月から 3 月の間は、図ではプロットされていない。

年間の最大有義波は 12 月に観測されているが、この時の波高・周期ともに両地点でほぼ等しい値となっている。しかし、月および年間の平均値としてみると、南側の新観測地点の方が、特に有義波高において、20% 程度大きな値となることが注目される。有義波周期については、両観測点で波高の相違ほど顕著な違いは見られない。むしろ南側の新観測点の方が若干短い月平均有義波周期となっている。

図-5 は、波高階級毎の平均波向の出現特性を示したものである。両観測地点とも NE からの来襲波の出現頻度が最も大きいことは共通している。しかし、北側旧観

測点における NE からの波向の出現頻度は 40% を超えているのに対して、南側新観測点では NE からの波向出現頻度はこれより若干低く、その分、他の方向からの頻度が高い。すなわち、水深の浅い北側の旧観測点に比べて南側の新観測点では、NNE や ENE からの来襲頻度が相対的に高く、広い範囲からの波の来襲が見られる。これは、屈折の影響によるものであり、水深が浅くなるほど波向が、等深線直角方向に集中するためである。

4.2 方向スペクトルによる比較

4.1 で述べた両観測地点における波浪の出現特性の相違を、より詳しく検討するため、両観測地点の方向スペクトルの算定を行った。方向スペクトルの算定結果は、表-3 に示す周期帯区分で表記される、換算波高および周期帯内の平均波向として表記した(永井ら, 2000)。こうした方向スペクトルの表記は、既に、ナウファス(全国港湾海洋波浪情報網)の定常的な波浪統計解析において実施されている(永井ら, 2002)。

図-6 は、方向スペクトルの算定結果から求まる、周期帯毎の波高を比較した結果の一部であり、表-3 で示す f_3 (10 s から 15 s の比較的周期の長い周期帯) および f_5 (6 s から 8 s の比較的周期の短い周期帯) の、それぞれにおける比較結果である。 f_3 を示す左図では、両地点の相関性は高い。これに対して、 f_5 を示す右図では、左図に比べてプロットのばらつきが広く、領地点の相関性が低い。回帰直線の傾きは、両図に共通して、45 度線より若干小さくなっており、南側新地点の有義波高の方が、北側旧観測点よりも統計的に大きい値となっていることによく対応している。

図-7 は、同様にして、周期帯波向を比較したものである。左図では、新旧両観測地点の波向の相関性は高いものの、回帰直線の傾きは 45 度より小さく、水深の浅い旧観測点における波向の変動幅は、新観測点における波向変動幅よりも小さい。これは、屈折の影響の相違と考えられ、水深の浅い北側旧観測点では、周期の長い成分の波向は等深線直角方向にそろいやすいことを意味している。他方、右図では、左図とは異なり、回帰直線の傾き

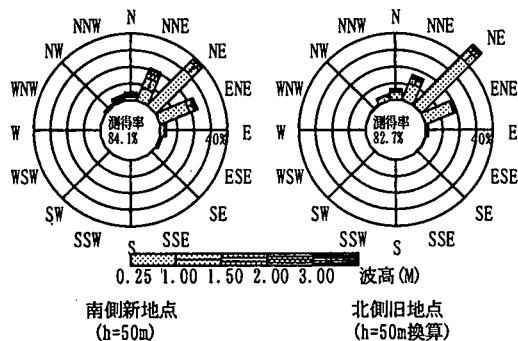


図-5 波向別有義波高の出現特性の比較

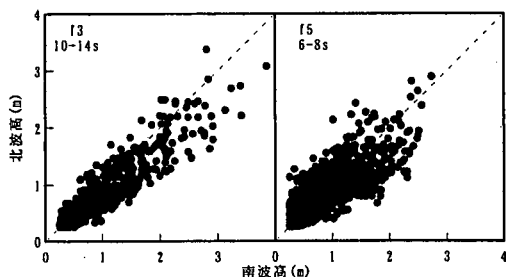


図-6 周期帯波高の比較

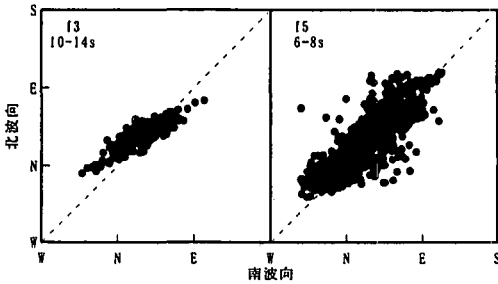


図-7 周期帯波向の比較

表-4 高波の出現記録の比較

起時	気象要因	南新地点		北新地点		時間差
		有義波高(m)	有義周期(a)	有義波高(m)	有義周期(a)	
2000/12/26/22	冬型気圧配置	5.44	9.2	5.32	8.9	0
2000/12/24/20	日本海低気圧	5.34	10.2	4.66	9.7	0
2001/11/4/20	北日本冬型気圧配置	3.96	8.8	3.98	8.6	-4
2001/10/3/16	東方海上低気圧	3.94	9.1	4.10	8.8	0
2000/10/19/0	オホーツク海低気圧	3.27	9.0	2.66	10.5	4
2000/12/7/6	北日本冬型気圧配置	3.24	8.8	2.67	7.3	-2
2000/11/16/20	北高型気圧配置	3.23	11.6	3.36	11.4	-2
2000/11/21/18	日本海低気圧	3.12	7.1	2.90	8.0	4
2001/7/7/2	東方海上低気圧	3.06	7.4	2.65	7.0	-2
2001/2/3/16	東方海上低気圧	3.04	7.1	1.63	6.5	0
2000/11/10/8	東方海上低気圧	3.02	11.5	2.28	12.4	6

は約45度であり、両観測点の波向変動範囲はほぼ等しい。しかし反面、縦軸と横軸との相関性は悪く、両観測点で異なる波向を示す場合が多い。このことは、短周期成分においては、長周期成分に比べて波浪の空間的変動が大きいことを意味しているものと考えられる。

5. 高波浪時における観測波浪の比較

表-4は、並行観測期間中の主要な高波期間を、その気象要因とともに示したものである。両観測地点における高波期間中の最大有義波は、2時間毎に観測される同時刻には必ずしもならなかったため、表中には、最大有義波観測時刻の時間差を、あわせて示している。

高波をもたらした気象擾乱については、両観測地点に大きな相違は見られずに、ほぼ同時期にそれぞれの観測地点で高波が記録されていることが理解できる。しかし、気象擾乱によっては、両観測地点における有義波高の最大値が大きく異なっている場合もある。例えば、2000年12月24日20時には、旧観測地点における有義波高は4.66mであったのに対して、新観測地点では5.34mであり、南側の新観測地点の方が波が高かった。反面、2001年10月3日16時には、旧観測地点では4.10mであっ

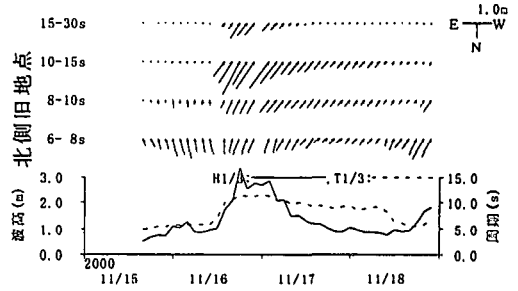
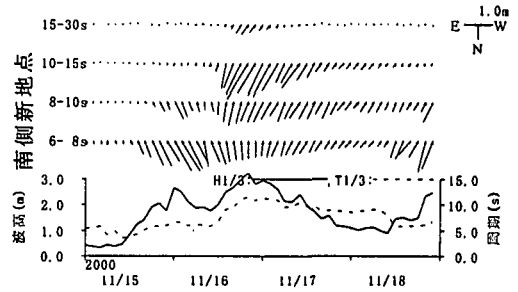


図-8 高波浪時における経時変化の比較例

たのに対して新観測地点では3.94mであり、逆に旧観測地点の方が波が高かった。

図-8は、高波期間中の周期帯毎の換算波高と波向を時系列でベクトル表示した事例である。 f_3 (10-15s) および f_2 (15-30s) の比較的長周期成分のベクトルは両者でほぼ一致しているものの、 f_5 (6-8s) および f_4 (8-10s) の短周期成分では両者の方向やパワーが異なっており、短周期成分ほど両地点の相関性が低くなっている。このため、擾乱期間中の最大有義波は、ほぼ一致していたものの、その起時は、前者が後者より2時間早くっており、極大値前後の波浪の発達と減衰の時間経過は、大きく異なっている。

6. 波浪換算の定式化とその適用限界

図-9は、周期帯および波向毎の波高相関の整理の一例を示したものであり、比較的周期の長い f_3 (10-15s) と、比較的周期の短い f_5 (6-8s) における比較を、南側新観測地点における周期帯波向 NNE と NE に関して示したものである。ただし、波高が非常に小さい場合には、両者の波高比は大きくばらつくことを考え、周期帯換算波高が両地点ともに0.5mを越える場合だけをデータ数Nとしてカウントし、プロットした。図中には原点通過を仮定した最小自乗法による回帰直線に加えて、90%のデータが含まれる範囲を破線で示している。図中に示すAは回帰直線の傾き(波高相関比)である。aは破線の範囲を示す指標であり、傾きが(aA)と(A/a)の間に90%のデータがプロットされている。

表-5は、各周期帯および波向に関して図-9に示す整

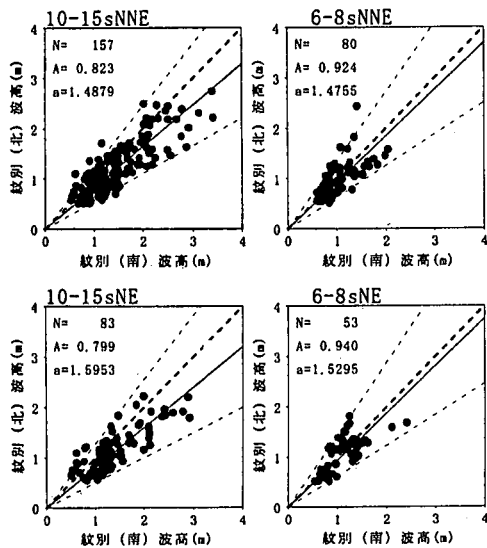


図-9 周期帯毎・波向毎の波高相関

表-5 周期帯毎・波向毎の波高換算係数

		15-30 s	10-15 s	8-10 s	6-8 s
NNW	データ数	0	0	42	164
	波高比	—	—	0.586	0.740
	a(90%)	—	—	1.5539	1.6178
N	データ数	0	13	59	136
	波高比	—	0.897	0.732	0.883
	a(90%)	—	1.5848	1.4280	1.5305
NNE	データ数	19	157	154	80
	波高比	1.194	0.823	0.713	0.924
	a(90%)	1.7069	1.4879	1.3440	1.4755
NE	データ数	33	83	68	53
	波高比	0.919	0.799	0.773	0.940
	a(90%)	1.4828	1.5953	1.4008	1.5295
ENE	データ数	3	6	22	8
	波高比	0.795	0.774	0.858	1.077
	a(90%)	1.0633	1.6608	1.3107	1.3362

理を行った結果をまとめたものである。この表が、本研究の結論であるが、以下の点が重要である。

① 斜め入射となる NNW 方向からの成分波高が 0.5 m を越えるのは、周期 10 s 以下の短い周期帯に限られる。しかし、周期の短い f_s (6-8 s) では、NNW 方向の出現頻度が最も大きい。他の周期の長い周期帯では、NNE または NE からの出現頻度が大きい。

② A の値に注目すると、周期の短い f_s (6-8 s) では、NNW から ENE に向けて方位が時計回りにずれるに従って、0.74 から 1.08 へと徐々に波高相関比が大きくなる傾向が見られる。逆に周期の長い f_s (10-15 s) では、N から ENE に向けて方位が時計回りにずれると、0.90 から 0.77 へと徐々に波高相関比が小さくなっている。これは、風浪の発達やうねりの変形などの複雑な要因によるものと考えられるが、波高相関比は周期帯毎に整理すべきことを示した結果であると考えられる。

③ データ数が 20 以上となる表中の太線内の a の値は、1.3 から 1.6 の範囲でほぼ一定であった。すなわち、周期帯および波向毎の波高相関比の変動幅は、あまり大きく変化していないようである。ただし、周期の短い f_s

(6-8 s) の NNW 方向の a は 1.62 と比較的大きく、波高相関比の変動幅が若干大きい。

参 考 文 献

- 合田良実監修, 海象観測データの解析・活用に関する研究会編集 (2001): 波を測る (沿岸波浪観測の手引き), (財)沿岸開発技術研究センター, 212 p.
- (財)沿岸開発技術研究センター(2000): 沿岸波浪・海象観測データの解析・活用に関する解説書, 181 p.
- 菅原一晃・永井紀彦・佐藤和敏・川口浩二 (1999): 全国港湾海洋海象観測施設台帳(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 (1997): ナウファス (全国港湾海洋波浪情報網) による我国沿岸の波浪特性の解明, 港研資料 No. 863, 113 p.
- 永井紀彦・佐藤和敏・菅原一晃・川口浩二 (1999): 全国港湾海洋波浪観測年報(NOWPHAS 1997), 港研資料 No. 926, 366 p.
- 永井紀彦 (1998): ナウファス (全国港湾海洋波浪情報網) の現状と今後の課題, 土木学会論文集, 第 609 号, VI-41, pp. 1-14.
- 永井紀彦・橋本典明・川口浩二・横井博志・久高将信 (2000): 現地方向スペクトルに基づく波向き出現特性とその表記, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp. 1336-1340.
- 永井紀彦・佐藤和敏・菅原一晃 (2002): 全国港湾海洋波浪観測年報 (NOWPHAS 2000), 港空研資料 No. 1017, 423 p.