

# 港内静穏度の新たな算定法の提案と その活用について

平山 克也<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(独)港湾空港技術研究所 海洋・水工部 海洋研究領域 波浪研究チーム

(〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

近年の港内静穏度解析の実務においては、港内外で生じる複雑な波浪変形を一度に考慮でき、より現実に即した港内静穏度の評価が可能なビジネスモデル：NOWT-PARIを適用する事例が多くみられる。しかし、港内波浪出現頻度分布に関する現在の算定法では、沖波波高の違いによる港内波高比の変化が考慮されていないため、特に浅瀬やリーフが広がる港湾や水深の浅い岸壁での荷役稼働率を算定する際に、ビジネスモデルによる精緻な計算結果がうまく取り込めていない。本研究では、これを改善した新しい高精度港内静穏度解析法を提案し、その効果を検証した。その結果、高波浪の顕著な碎波減衰が生じる場合に従来よりも荷役稼働率が高く評価されるなど、港内静穏度の算定精度がより向上することを確認した。

キーワード ビジネスモデル，NOWT-PARI，港内静穏度，荷役稼働率

## 1. はじめに

近年の港内静穏度解析の実務においては、港内外で生じる複雑な波浪変形を一度に考慮できるビジネスモデルを適用する事例が多くみられるようになってきている。これにより、港外にエネルギー平衡方程式、港内に高山法を用いる従来の波浪変形計算に比べ、より精緻な港内波高比を算定できるようになった。特に、ビジネスモデルに対しさまざまな境界処理法を導入して構築されたNOWT-PARIでは、港内外の防波堤や岬などの障害物に起因する回折・反射・透過変形に加え、高山法では考慮されない複雑な海底地形による屈折・浅水・碎波変形も同時に計算できる。さらに水面波の非線形性・分散性及び不規則性・多方向性なども考慮されるので、実海域で起こりうる波浪変形をほぼ再現できると考えられる。<sup>1)</sup>

ところで、港内波高比は、沖波の波浪出現頻度分布を港内各地点の波浪出現頻度分布に変換する際に用いられる。このとき、線形理論に基づく従来の港内静穏度解析法では、波浪変形計算を行う各代表波の諸元として、波向き、周期は数種類設定するが、波高は一通り（例えば波高1m）で代表することが一般的である（便宜のため、本研究ではこれを“一般的な方法”と呼ぶ）。これは、従来の波浪変形計算では、そもそも沖波の波高レベルによる港内波高比の変化を考慮できないためである。

本研究では、この一般的な方法を改良し、ビジネスモデルの優れた計算特性を十分に活用できる、新しい高精度港内静穏度解析法を提案する。<sup>2)</sup>また、エネルギー

平衡方程式や高山法に比べ、短周期波に対する計算精度が劣化しやすいというビジネスモデルの欠点についても触れ、港内静穏度解析の実務に適用する際の留意点やその対処方法についても言及する。

## 2. ビジネスモデルの計算精度

### (1) 対象としたビジネスモデル

本研究で提案する高精度港内静穏度解析法は、港内外に岩礁などの浅瀬や珊瑚礁が存在したり、岸壁の整備に伴い岸壁前面、航路、泊地が掘削されるなど、複雑な海底地形を形成している港湾への適用を想定している。そこで港内波高比の算定には、消波工による波の反射率が自動的に再現できる任意反射計算に加え、人為的なパラメータの設定を必要としない碎波計算、および引き波時に海底面が露出することも許容する遡上計算などが可能な、港湾空港技術研究所が開発した最新のビジネスモデル：NOWT-PARI Ver5.2<sup>3)</sup>を用いた。なお、港湾設計の実務に広く活用されているNOWT-PARI Ver4.6の適用にあたっては、現地の波浪・地形条件に応じて、消波工による反射率と碎波モデルで与えられる碎波減衰係数、および海底面を露出させないための最小水深等を適切に設定することが必要である。

### (2) 那覇港内波浪観測結果（台風0514号）の再現計算

本研究に適用したブシネスクモデルの再現精度を確認するために、港内外に浅瀬や珊瑚礁が広がる沖縄県那覇港で観測された波浪データのうち、観測期間中に来襲した台風0514号による擾乱時の周波数スペクトル（風波・うねり、長周期波）を対象とした再現計算を行った。

a) 現地観測の概要

現地観測では、平成17年度の夏季1回（9/2 9:30～9/18 11:30）、冬季2回（12/28 9:50～1/12 11:30と1/21 8:30～2/6 11:30）、図-1に示す5地点（St.1～5）においてそれぞれ15昼夜の連続観測（サンプリング間隔0.5s）が実施され、水位と水平2成分流速を計測した。また潮位観測は那覇検潮所で気象庁が実施している。さらに那覇港浦添地区及び新港地区のそれぞれ陸上部では、10分間平均風向・風速観測が行われている。

これらのうち、台風0514号の接近により那覇港周辺で擾乱が生じた9/4 17時頃より9/6 22時頃までの期間で、波浪の発達期、ピーク期、減衰期に当たる5時刻を選定し、再現計算の対象とする波浪諸元として設定した。各地点で観測されたこれらの擾乱による有義波高と有義波周期を表-1に示す。またこのうち9/5 10:50に観測された周波数スペクトルを図-2に示す。ここで、この期間に



図-1 那覇港の海底地形と波浪観測地点

表-1 那覇港各地点で観測された有義波諸元（T0514号）

No	年月日	時刻	NOWPHAS		St.1		St.2		St.3		St.4		St.5	
			H <sub>1/3</sub> [m]	T <sub>1/3</sub> [s]	H <sub>1/3</sub> [m]	T <sub>1/3</sub> [s]	H <sub>1/3</sub> [m]	T <sub>1/3</sub> [s]	H <sub>1/3</sub> [m]	T <sub>1/3</sub> [s]	H <sub>1/3</sub> [m]	T <sub>1/3</sub> [s]	H <sub>1/3</sub> [m]	T <sub>1/3</sub> [s]
1	2005.9.5	10:50	-	-	3.68 (3.98)	9.84 (9.20)	2.06 (2.35)	9.65 (9.10)	0.55 (0.75)	9.54 (4.50)	0.59 (0.66)	9.60 (5.40)	0.44 (0.79)	8.44 (3.40)
2	2005.9.5	19:30	-	-	4.52 (4.86)	11.29 (10.90)	1.58 (1.90)	12.27 (11.70)	0.29 (0.51)	9.53 (3.60)	0.34 (0.45)	10.25 (4.30)	0.36 (0.55)	9.54 (3.70)
3	2005.9.5	20:10	-	-	5.25 (5.54)	11.87 (11.80)	1.48 (1.65)	11.42 (9.90)	0.30 (0.48)	8.75 (3.50)	0.37 (0.49)	10.21 (4.20)	0.42 (0.58)	10.55 (4.30)
4	2005.9.5	20:50	-	-	4.68 (4.79)	11.00 (10.70)	1.82 (2.05)	11.55 (10.30)	0.35 (0.53)	9.40 (3.50)	0.38 (0.50)	10.33 (4.10)	0.38 (0.56)	10.96 (3.90)
5	2005.9.5	16:50	-	-	2.89 (3.06)	11.45 (11.00)	1.12 (1.20)	10.00 (8.80)	0.24 (0.38)	10.76 (3.80)	0.33 (0.37)	10.09 (4.90)	0.28 (0.38)	10.89 (4.20)

- は欠測を表す。また、()は全周波数成分を用いて算出される波浪諸元を表す。

は少なくとも10m/sを超える平均風速が継続して観測されていたことから、港内のSt.3～St.5で観測された周波数スペクトルのうち、0.2Hzより高周波数側でピークをなす成分は港内発生波であった可能性が高い。そこで表-1では、ローパスフィルターにより周期5s未満を除去して得た有義値を示した。これらと()内に示した全周波数成分に対する有義波諸元を比較することにより、港内の各地点では、むしろ港外（St.1, St.2）から伝播する波エネルギーのほうが支配的であったことがわかる。なお、発達期に当たる9/5 10:50の潮位はD.L.+1.65m、ピーク時の20:10の潮位は朔望平均満潮位を上回るD.L.+2.26mであった。

b) 風波・うねりに対する再現計算

風波・うねりに対する再現計算及び後述する港内静穏度解析においては、計算容量や計算時間の制約、対象波の起源、あるいは対象となる係留船舶の動揺特性を考慮して、港内発生波と思われる短周期成分は無視し、周期5s以上を対象とした差分条件 $\Delta x=5m$ 、 $\Delta t=50ms$ を設定して実施した。このうち、9/5 10:50（沖波：有義波高5.6m、有義波周期9.2s、波向きNNW、 $S_{max}=25$ ）に各地点で観測された周波数スペクトル及び有義波高に対する再現計算結果を図-3に示す。港外のSt.1をはじめとした各地点で、再現計算で得られた周波数スペクトルは、5s未満の短周期帯でエネルギーが急激に低下し観測スペクトルを再現できていない。これは、ブシネスクモデルが港内発生波を考慮できないことに加えて、差分計算に伴う数値分散により高周波数帯の波エネルギーが急激に減衰したことが主な原因である。したがって、短周期波に対する荷役稼働率を算定する場合などには計算格子を十分小さくとするなどの工夫が必要である。しかしこれらを除けば、ブシネスクモデルを用いた波浪変形計算は、複雑な海底地形を有する港内の波高分布を各地点の周波数スペクトルとともに非常に良好に再現できることがわかる。とくに後述する港内静穏度解析の観点からは、浦添ふ頭地区を囲む内防波堤前面に広がる水深2m程度の浅瀬（図-1：St.2の北西隣）により生じる、浦添口からの来襲波（波向NNW）の屈折、浅水、砕波変形を考慮した

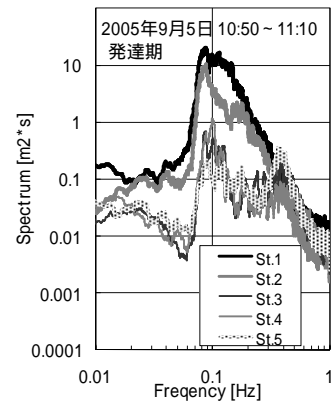
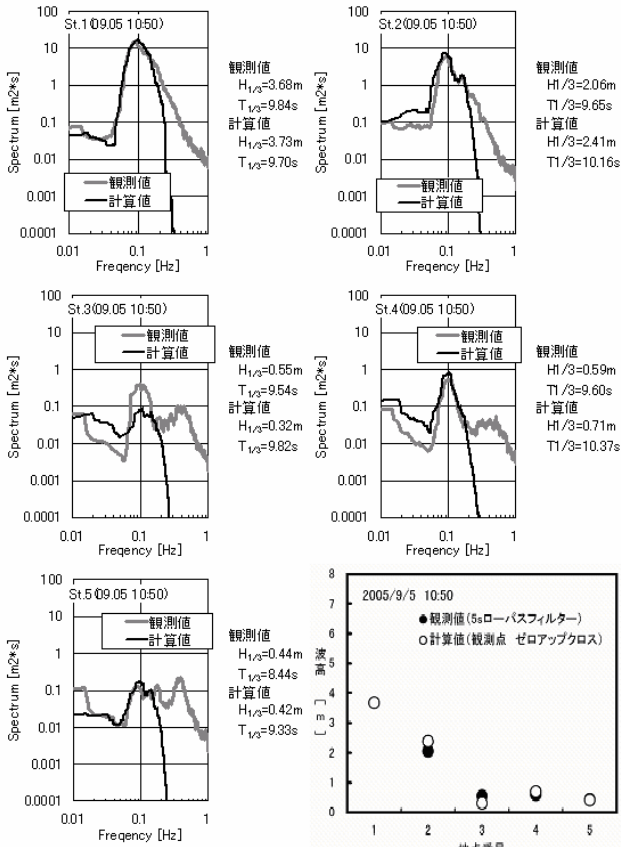


図-2 観測スペクトル（9/5 10:50）



注) 観測値の $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ は、観測結果から5s以上の成分を取り出し、ゼロアップクロス法により求めた。

図-3 周波数スペクトルと有義波高の再現結果 (9/5 10:50)

計算がなされていることが極めて重要である。また、その他の時刻における再現結果も概ね良好であったが、観測された方向スペクトルの形状（主波向はすべてNNW）と実際に入射境界で与える関数スペクトル形の違い（主に方向関数）や潮位条件により、St.2, St.4において、浦添口から港内に入射する波エネルギーに若干の違いが生じていた。これらを踏まえ再現計算の観点からは、観測スペクトルをそのまま用いる多方向波の造波手法の開発や、波による平均水位上昇量を初期条件として与える前駆計算の必要性などが伺える。

### c) 長周期波に対する再現計算

風波・うねりに対するものと同時刻の周波数スペクトルから標準スペクトル（直線型、周期20s～300s）を推定し、これらを入射条件として長周期波に対する再現計算を実施したところ、いずれの地点も観測スペクトル形状の特徴を比較的よく再現できることを確認した。少なくとも自由長周期波を対象とした場合には、差分格子間隔及び差分時間間隔を大きく設定でき、同じ港湾で風波・うねりを対象とした波浪変形計算を実施する場合に比べ、短時間、低負荷での演算が可能である。このためブシネスクモデルの現地適用がいち早く進められてきた経緯があるが、観測長周期波のうち港湾への入射成分をどう見積もるかなどは未だ議論の分かれるところである。例えば、図-3で示した周波数スペクトルの再現計算結果では

表-2 高精度港内静穏度解析法の手順（一般的手法との比較）

手順	線形理論に基づく従来の港内静穏度解析法	高精度港内静穏度解析法
		港外における波向き別波出現頻度表を作成する (波浪観測あるいは波浪推算データの統計処理)
		港外波浪出現頻度を代表する入射波を複数設定する (波高1種類: 通常1m) (波高2～3種類)
		(周期3～6種類) (波向5～9種類)
	各代表表について港外に対する港内波高比を算定する (高山法(一部、ブシネスク方程式法))	(ブシネスク方程式法(Ver5.2))
	対象岸壁前面の港内波高出現頻度表を作成する	
	(波向き毎に入射波周期に対する港内波高比の変化近似曲線を設定)	(波向き毎に入射波高・周期に対する港内波高比の変化近似曲線を設定) (波高比の曲面補間法の提案)
	(沖波波浪出現頻度に対応する港内波高比を乗じ、港内波高出現頻度を算定)	
	港内静穏度(狭義)および荷役稼働率を算定する (対象岸壁前面の波高が荷役限界波高を下回る比率を算定)	
	(従来法および標準解析法を用いて、2通りの荷役稼働率を算定)	

20s以上(0.05Hz以下)で観測された長周期波成分も比較的よく再現していると言える。ところが計算で与えた入射スペクトルにはこのような長周期波成分は含まれていない。すなわち、風波・うねりに対する再現計算では、高々2次の非線形干渉によって波群に拘束された長周期波成分が防波堤での回折や浅瀬上の碎波などによって自由波となり、港内や沖へ伝播する様子が計算されたものと思われた。ただし、図-3で示した観測スペクトルは20分間の観測データを用いて解析されたものであるため、例えば周期300sの長周期波は4波程度しか含まれず、必ずしも十分なデータ長ではないことに注意を要する。

### 3. 高精度港内静穏度解析法の提案とその活用

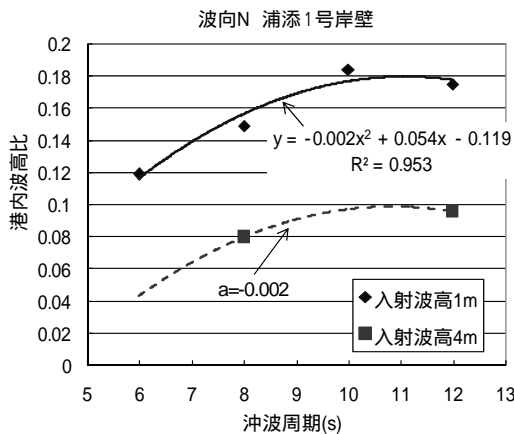
線形理論に基づく従来の港内静穏度解析法では、港内波高比は入射波高に依存しないと仮定し、海底地形の変化に伴う港内での屈折・浅水・碎波変形を考慮しない算定法(例えば高山法など)によって港内波高分布を算定する。この場合には、港内波高比分布はある入射波向・周期に対してただ一通りに決まる。一方、波の非線形化に加え、港内外で生じる複雑な波浪変形を同時に算定できるブシネスクモデルを適用した場合には、例えば、入射波高1m及び4mに対して算定される港内波高分布の違いを、忠実に表現することが可能である。そこで、このようなブシネスクモデルの利点を十分に活用するために、表-2に示すような高精度港内静穏度解析法を提案する。

すなわち本研究で提案する新たな手法では、ある対象地点(岸壁)において、波向き毎に周期に加え波高に対する波高比の変化特性を求め、沖波に対する港内波浪出現頻度分布を算定する。そしてこれを可能とするために、入射波高・入射波周期平面における波高比分布を推定する曲面補間法を提案する。以下では、沖縄県那覇港を例に、対象岸壁における港内静穏度及び荷役稼働率を算定し、従来の解析法による結果との違いを考察する。

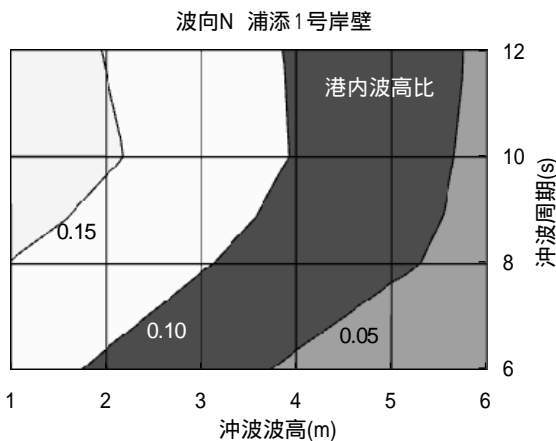
(1) 沖縄県那覇港における港内静穏度の算定

那覇港浦添地区の港内静穏度解析においては、沖波波浪出現頻度分布を勘案して港内波高比を算定する代表波を、4周期（6s, 8s, 10s, 12s）、7波向（N~W~SW）に対し従来のように波高一定（1m）とすることに加え、各波向とも周期8s, 12s に対して波高4mを設定する。そして、それぞれの入射波に対して港内波浪変形計算を実施し、対象地点における港内波高比を算定する。

ここで一般的な静穏度解析法では、それぞれの代表波（波高1m）に対して計算された港内波高比を直線で結び、これに沖波波浪出現頻度分布を掛け合わせて各地点での港内波浪出現頻度分布を得る。しかし補完直線が折れ線となる場合には場合分けが必要なほか、ある周期、波向に対する港内波高比は1通りであり、波高4mの代表波が那覇港内の複雑な海底地形上で浅水・碎波変形することによる波高比の変化は考慮されない。そこで新たな静穏度解析法では、沖波の波高、周期による港内波高比の変化がそれぞれ2次曲線で近似できると仮定して、図-4 に示すような補完曲面を作成することを提案する。すなわち、周期の異なる複数の入射波に2種類の波高を



(a) 周期による港内波高比の変化



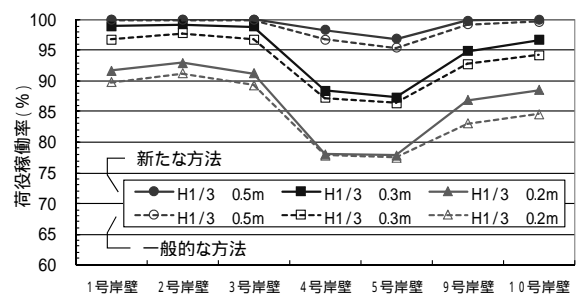
(b) 波高と周期による港内波高比の変化

図-4 港内波高比の補完曲面の例（那覇港浦添地区）

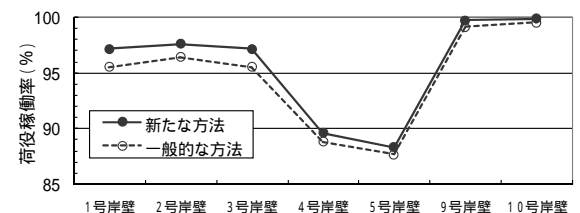
設定した場合には、それぞれの波高値に対して周期による港内波高比変化の近似曲線を求め、それら2本の曲線間を内挿または外挿する直線を引くことにより、波高 - 周期平面において平面的に分布する港内波高比を得ることができる。なお、代表波諸元に3類以上の波高値を設定した場合にはそれらを曲線で結び、2次曲面あるいは3次曲面で近似することも可能である。

さて、那覇港における港内波高比の曲面補間の具体的な手順はおおよそ次のようである。まず、4種類の周期に対する波高比が得られている入射波高1mのものを対象として、最小2乗法によりこれらを近似する2次曲線を求める（図-4(a)の実線）。つぎに、2種類の周期に対する波高比しか得られていない入射波高4mのものに対して、同様な近似2次曲線を引くことはできないため、ここでは先に求めた2次曲線のうち、放物線の尖鋭度を表す係数aは入射波高4mの場合にも適用できるとして、2点より残りの係数bおよび係数cを決定する（図-4(a)の破線）。そして、このようにして得た2つの曲線を最短で結ぶ1次直線を引くと、波高 - 周期平面上に連続的に分布する、港内波高比のコンター図を描くことができる（図-4(b)）。一方、波向に対する補間は、線形理論に基づく一般的な方法、プシネスクモデルに対応した新たな提案法ともに、各波向で同一の波高、周期に対応する波高比を線形補間して行った。このようにして得た沖波の波高、周期、波向に対する港内波高比に沖波波浪出現頻度分布を乗じることにより、各対象地点における新旧2種類の港内波浪出現分布がそれぞれ算定される。

ここで、荷役稼働率の算定方法について述べる。「港内長周期波影響評価マニュアル」（2004）<sup>5)</sup>において定義される「従来法」では、対象岸壁に対して一定の荷役限界波高（0.5mなど）を設定し、これに対する波高の未



(a) 従来法（船種・船型に関係なく荷役限界波高を設定）



(b) 標準解析法（浦添ふ頭：5,000DMT, 新港ふ頭：40,000DMT）

図-5 荷役稼働率の比較

超過出現率を荷役稼働率とする．このようにして算定した各岸壁の荷役稼働率を示すと、それぞれ図-5(a)のようであった．一方、「標準解析法」では、対象岸壁への入射波向と周期による係留船舶の動揺量を考慮した荷役限界波高を、船種・船型毎に設定して荷役稼働率を算定する．これを用いて新旧2種類の方法により算定した港内波浪出現頻度分布に対する各岸壁の荷役稼働率は、それぞれ図-5(b)のようであった．

いずれの荷役稼働率算定法においても、沖波の波高レベルによる港内波高比の違いを考慮した高精度解析法では、那覇港内の浅瀬や珊瑚礁による高波浪時の碎波減衰効果により、各岸壁とも、荷役稼働率が従来よりも高く算定され、港内の静穏性確保のために珊瑚礁の果たす役割が大きいことが示唆されるなど、一般的な方法に比べ、より精緻な港内静穏度が算定されることが確認できる．

例えば、「従来法」において荷役限界波高を一律0.3mとした場合には、沖波波高による港内波高比変化を考慮しない一般的な方法で推定される荷役稼働率は、ほぼすべての岸壁で97.5%を下回る．これに対し、沖波波高の違いを考慮した新たな方法では、すべての岸壁で荷役稼働率が向上し、特に1～3号岸壁では97.5%を満足していることがわかる．これらの傾向は「標準解析法」でも同様であり、実際に現地の当該岸壁において顕著な荷役障害が発生していないこととよく符合している．一方、「従来法」において一般的な方法で算定された4、5号岸壁の荷役稼働率は、90%を大きく下回っており、新たな方法でも大きく改善されない．これらの傾向は「標準解析法」でも同様であり、当該岸壁において荷役障害が度々発生して問題となっていることをよく表している．なお、9、10号岸壁（新港ふ頭）において「標準解析法」を用いた場合に荷役稼働率がほぼ100%となる理由は、対象船舶（40,000DWT）に対する荷役限界波高が大きいためであり、これは「従来法」において荷役限界波高を0.5mとした場合にほぼ対応している．

ところで、長周期波に対する港内静穏度及び荷役稼働率は、各波向で周期20s～300sの標準スペクトルが港内に伝播したときの波高比を算定して求められる．しかし、波長が長く波形勾配が非常に小さいという特徴を有する長周期波において、入射波高による浅水・碎波変形の違いが問題となることは少ない．したがって、長周期波を対象とした場合には、これまで通り、一般的な港内静穏度解析法を適用するのがよいと思われる．

## (2) 対策工の検討とその効果の検証

那覇港浦添ふ頭地区の4、5号岸壁では、現地での実績、および新たな高精度港内静穏度解析法による荷役稼働率の算定結果により、未だ静穏性が確保されていないことが明らかとなった．この直接的な原因は、これらの岸壁が位置する隅角部における波の多重反射と考えられる．そこで、浦添地区に入射する波を抑制するために、

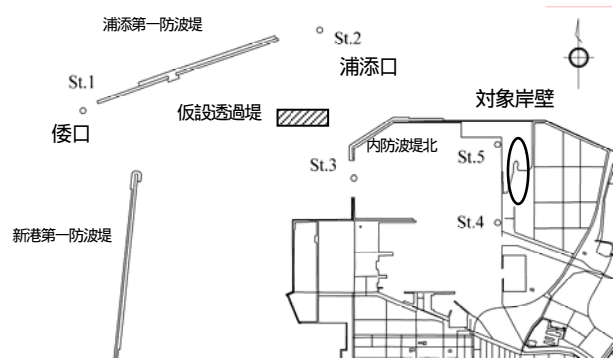


図-6 仮設透過堤の設置位置及び波浪観測地点

内防波堤端部及び前面の浅瀬周辺に、仮設透過堤および波除堤からなる対策工を設置し、現地波浪観測あるいは港内静穏度解析を実施して、その効果を検証した。<sup>6)7)</sup>

### a) 現地観測の概要

平成18年度には、浅瀬上に長さ200mの透過堤（50t ドロス）を施工し、現地波浪観測結果を用いてその効果を検証した．仮設透過堤の設置位置および波浪観測地点を図-6に示す．ここで、波浪観測地点は平成17年度に実施した地点（図-1参照）とほぼ同様であるが、平成18年度には、透過堤の効果を検証するために、仮設堤前面の港口（浦添口）にも波浪観測地点：St.2を設けた．（平成18年度のSt.3～St.5は、それぞれ平成17年度のSt.2～St.4に対応する．また平成17年度のSt.5地点の波浪観測は、平成18年度は行っていない．）

現地波浪観測は、4、5号岸壁での荷役障害が著しい冬季に実施し、平成17年度には前述のとおりH17年12/28～H18年2/6（ただし1/13～1/20を除く）の期間、平成18年度にはH19年1/11～2/23の期間に実施した．

### b) 仮設透過堤による波浪減衰効果

内防波堤北前面の浅瀬に設置された透過堤による波浪低減効果を確認するために、透過堤が設置される前後の年度に取得された現地波浪観測データのうち、主に浦添口からの侵入波を捉えたと考えられるSt.2およびSt.3で観測された有義波高の相関関係をそれぞれ調べ、それらの違いを確認した．

まず、透過堤設置前の平成17年度に観測されたであろうSt.2地点とSt.3地点の有義波高の相関関係は、平成18年度に観測されたSt.1地点とSt.2地点の有義波高の相関関係（相関係数； $St.2/St.1=0.872$ ）が平成17年度観測でも同様であったと仮定し、これと、さらに平成17年度のSt.1地点とSt.3地点（図-1のSt.2地点）の相関関係（相関係数； $St.3/St.1=0.486$ ）を用いて推定した．この結果、St.1地点とSt.2地点の相関係数は、 $St.3/St.2=0.486/0.872=0.557$ であった．

一方、透過堤設置後の平成18年度に観測されたSt.2とSt.3の相関係数は、 $St.3 / St.2=0.457$ であった．これらの比をとると、 $0.457/0.557=0.82$ であり、したがって、透過堤による波高減衰効果は2割程度であることを確認した．

ところで、平成19年度に別途実施された荷役業者へのヒアリングでは、透過堤設置以前に比べ港内が静穏になり、荷役稼働率が向上したという調査結果が得られていたことから、これらの考察は概ね妥当であると考えられる。しかし、より長い周期の波に対する波高減衰効果は未だ不十分であったために、さらに内防波堤の端部に仮設波除堤を設置する対策工（図-7）を提案し、同様な高精度港内静穏度解析を実施して、その効果を検証した。

#### c) 港内静穏度解析による対策効果の検証

新たに提案した対策工による4、5号岸壁の荷役稼働率の改善に対する効果を検証するために、沖波波高による港内波高比変化を考慮した新たな港内静穏度解析を実施して、「標準解析法」に基づく荷役稼働率を算定した。なお、内防波堤端部に長さ140mの波除堤（ケーソン）を設置した場合を対策工4とし、さらに既設の仮設透過堤（長さ200m）を不透過堤に改良した場合を対策工5とした。これらの結果を図-8に示す。

対策工4、5ともに、浅瀬により屈折して浦添ふ頭地区へ侵入する波の遮蔽効果は比較的高く、仮設透過堤設置前にもすでに97.5%をほぼ満足していた1～3号岸壁における荷役稼働率（図-5参照）は、ほぼ100%にまで向上すると予想される。また、90%を下回っていた4、5号岸壁の荷役稼働率も95～97%程度にまで向上しており、これらの対策工の有効性が確認できた。ただし対策工5では、不透過とした仮設堤によって浅瀬上を通過する周期の長い沖波をも確実に遮蔽できる代わりに、浅瀬周縁を回り込んだ波が波除堤と仮設堤との間で多重反射することが懸念されることに対して、注意が必要がある。なお、これらの対策工は、沖防波堤の延伸が完了するまでの暫定的な措置として位置づけられている。

#### 4. おわりに

本研究では、リーフ上の碎波・遡上計算が可能なブシネスクモデルを対象として、その計算精度を現地観測データによって検証するとともに、入射波高による波高比変化を考慮できるよう補間曲面を導入して港内静穏度解析法を改良し、具体的な港湾を例に、港内静穏度及び荷役稼働率を高精度に算定する手法を提案した。

また、那覇港浦添ふ頭地区における荷役稼働率の現状および対策工によるその改善効果を検証し、港湾整備の実務に対する新たな港内静穏度算定法の有用性を示した。

なお、浅水変形による波高増大や碎波が生じる水深は沖波の周期によっても異なる。したがって今後は、特にうねり等の周期の長い波が直接来襲する外洋に面した港湾などにおいて、新たな算定法の有用性を検証することが必要である。具体的には、沖防波堤が未整備で、かつ広い岩礁帯を有する久慈港などへの活用が想定される。



図-7 新たに提案した対策工

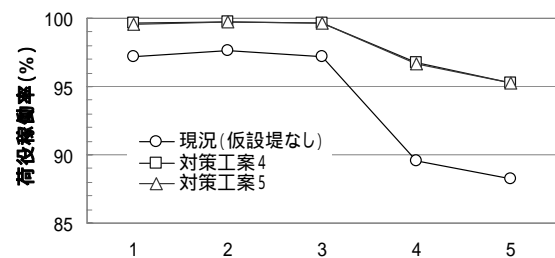


図-8 対策工施工時の荷役稼働率

謝辞：本研究をとりまとめるにあたり、内閣府沖縄総合事務局那覇港湾空港工事事務所からは、現地港湾における気象・海象条件に関する資料や港湾計画図・港湾施設図等をご提供いただくとともに、当該港湾が抱える問題点や港湾荷役の現状等についてご教示いただいた。この場をお借りして、心から謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 平山克也（2002）：非線形不規則波浪を用いた数値計算の港湾設計への活用に関する研究，港空研資料，No.1036，162p．
- 2) 平山克也（2007）：ブシネスクモデル（NOWT-PARI）を用いた高精度港内静穏度解析法の提案，港空研資料，No.1159，90p．
- 3) 平山克也（2001）：ブシネスクモデルにおける透過層内の波浪減衰を考慮した任意反射境界処理法の開発，海工論文集，第48巻，pp.26-30．
- 4) 平山克也・平石哲也（2005）：平面2次元ブシネスクモデルによる碎波・遡上計算法の開発と現地適用，海工論文集，第52巻，pp.11-15．
- 5) 財団法人沿岸技術研究センター（2004）：港内長周期波影響評価マニュアル，港内長周期波影響評価マニュアル検討委員会．
- 6) 津田修一・知念正吉・内間和秀・平石哲也・平山克也・春尾和人（2008）：那覇港静穏度対策で用いる波浪変形計算法の現地観測による検証，海開論文集，第24巻，pp.405-410．
- 7) 独 港湾空港技術研究所海洋・水工部波浪研究室（2008）：平成19年度那覇港港内擾乱対策検討業務報告書，145p．

