

荷役稼働率向上を目的とした波高観測と船体動揺解析について

屋良 隆司、牧野 敏明

株式会社 沖縄建設技研（〒901-2126 沖縄県浦添市宮城三丁目7番5-103号）

キーワード：港内静穏度、波高観測、風波・うねり、長周期波、船体動揺解析

1. はじめに

沖縄県は典型的な島嶼県であり、離島航路における定期船は、計画的な運航により離島の生活や観光産業を支えている。しかし、季節風や台風の余波によるうねりの影響を受けやすく、たびたび欠航や繰り上げ出港を余儀なくされるなど、十分な静穏度が確保されていない。また、港内が静穏とみなせる時でも、船舶が大きく動揺し、荷役作業への障害や係留索が切断する事例が報告されている。さらに、近年の研究成果では、これらの原因が、“周期 10s 前後のうねり”のみでなく、“周期 30s 以上の長周期波”の影響もあることが判明している。

このような問題には、港外の水深、港湾施設形状、対象船舶の大きさ、係留索の取り方など、複合的な要因が絡み合っており、解決には港内の波浪状況を的確に把握することが重要となる。

ここでは、このような課題解決に必要な波高観測および船体動揺解析を実施した事例を紹介する。

2. 波高観測

波高観測は、港内に侵入する波の特性を把握するために重要なものである。ここでは、ある離島港湾において実施した波高観測について述べる。

2.1 観測位置

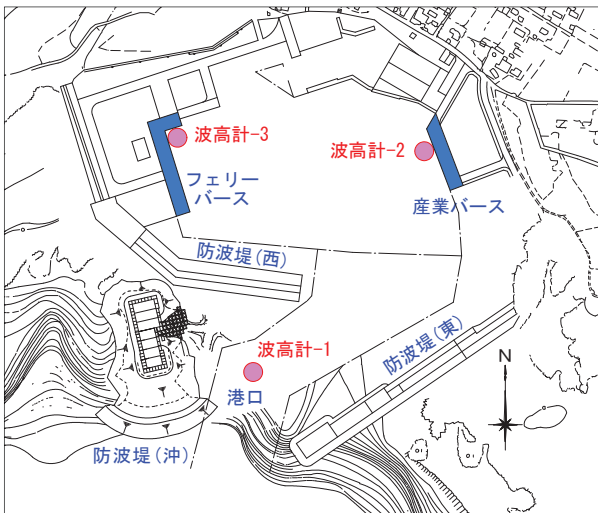


図-1 波高観測位置

船社ヒアリングによれば、当該港湾においては、港口から入射してきた波が、港口の防波堤や産業バース等で反射し、その波がフェリーバースに到達することにより、フェリーが大きく動揺し、幾度となく荷役作業への障害や係留索の切断が発生している。

このような状況を踏まえて、各波高計の位置は、図-1に示すように、港口から港内に向かう波浪の挙動を把握できるように、港口付近に1箇所、港内に2箇所の合計3箇所に設置し、波高観測を実施した。

2.2 観測方法

今回の波高観測において、観測する項目は、最大波高、有義波高、平均波高、波向および長周期波高である。

波浪は季節により変化するため、年間を通して観測することが望ましいが、今回の観測は、冬季の港内波浪状況を把握することを目的とし、冬季40日間の観測期間とした。

港内波浪は、外洋の気象、潮汐などの影響により刻々と変化するため、2時間毎に観測および記録を行うこととした。また、観測1回につき40分間の連続観測とし、その統計値を記録する。すなわち、1日12回の40分間連続観測結果が記録されることとなる。

表-1 観測する項目、期間および間隔

観測項目	最大波高、有義波高、平均波高、波向、長周期波高
観測期間	自：平成23年12月28日 至：平成24年2月7日（40日間）
観測間隔	2時間、偶数時の前後40分間にわたって連続観測

2.3 観測機器

観測機器は、写真-1に示すような半導体圧力センサーを用いた自記録型波高計を使用した。

波高計は海底に設置するため、外乱により移動することがないように、鋼製の架台に合計約80kgのウェイトを取り付けている(写真-2)。



写真-1 波高計

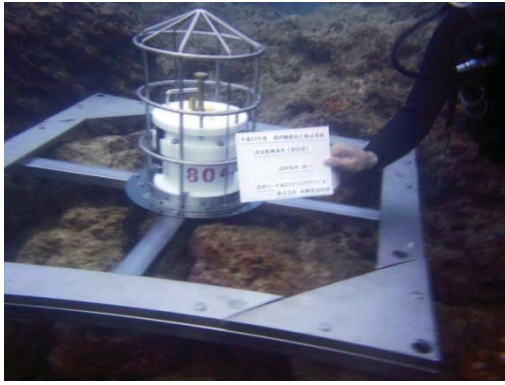


写真-2 波高計-1(港口)設置状況

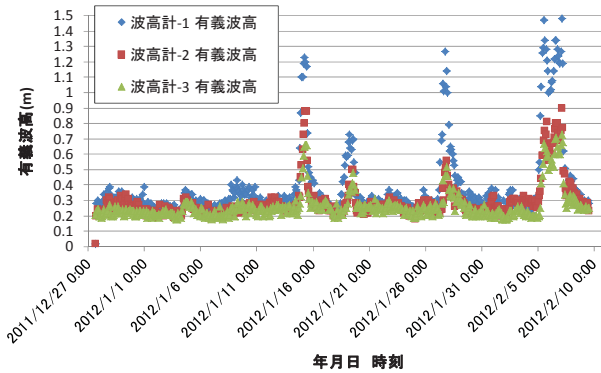
3. 観測結果

3.1 波高観測結果

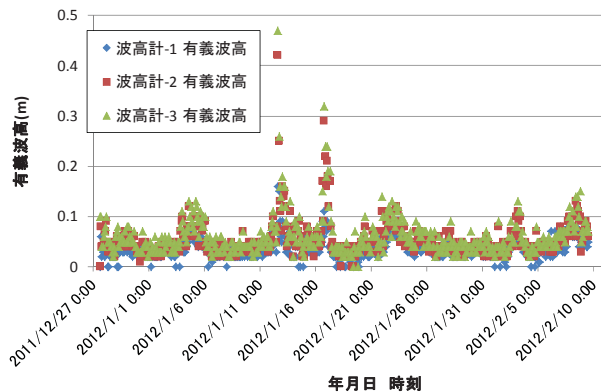
波高観測結果を図-2 に示す。(a)は周期 0~30s(風波・うねり)の有義波高、(b)は周期 30~1200s(長周期波)の有義波高を整理したものである。

図-2(a)では、すべての波高計で、そのほとんどが 0.2~0.4(m)の有義波が観測され、1月15日、1月27日および2月5日付近にそれ以上となる極大値が観測されている。一方、図-2(b)では、すべての波高計で、そのほとんどが 0.1(m)未満の有義波高が観測され、1月12日および1月16日にそれ以上となる極大値が観測されている。

港口から港内の奥に向かって、風波・うねりは徐々に減衰するものの、長周期波は、まったく減衰しない傾向を確認した。



(a)風波・うねり(周期 0~30s)



(b)長周期波(周期 30~1200s)

図-2 波高観測結果

3.2 波向・風向別出現度数

(1)波向別出現度数

波向別出現度数を図-3 に示す。港口に設置した波高計-1 は、防波堤に囲まれて開港している SSW 方向の波が卓越し、波高計-2 も同様に港口方向である SW 方向の波が卓越している。波高計-3 では、ESE~SSE 方向の波向となっており、これは、港内で波が反射し、港内でもっとも奥に位置する波高計-3 に到達しているためと考えられる(図-5)。

(2)風向別出現度数

当該地域における気象庁記録に基づく、波高観測期間と同期間の風向別出現度数を図-4 に示す。

図-4 より、冬季には、N~NE 方向の風が卓越しており、当該地域周辺の冬季における風波は、北向きが卓越することが予測される。これらの風波や外洋のうねりが、島外縁で回折し、港口に回り込んだ波浪が、南向きの開口から入射しているものと考えられる。

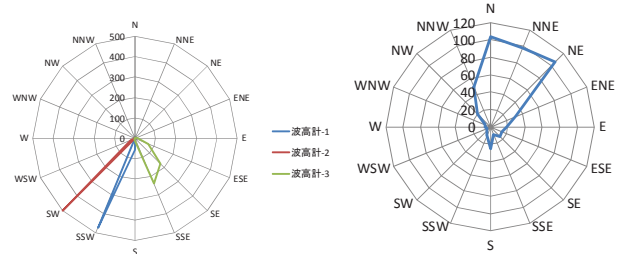


図-3 波向別出現度数

図-4 風向別出現度数

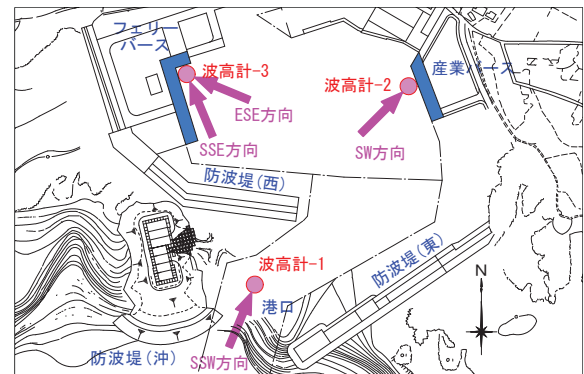


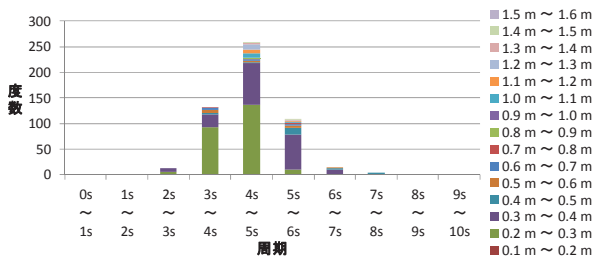
図-5 港内波向図

3.3 周期別度数(風波・うねり)

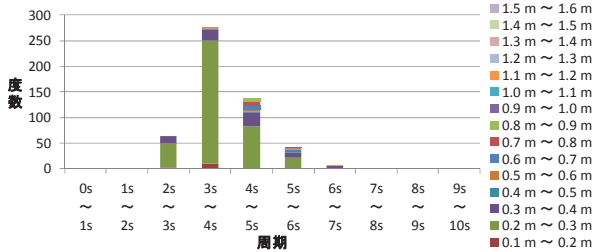
風波・うねりの周期別出現度数を図-6 に示す。(a)は港口に設置した波高計-1、(b)は産業ベース前面に配置した波高計-2、(c)はフェリーベース前面に設置した波高計-3 を整理したものである。尚、図-6 に示す凡例は有義波高を表す。

(a)波高計-1 では、周期 4~5s を最頻値として、2~8s の範囲にわたって分布している。しかし、(b)波高計-2 および(c)波高計-3 では、周期 3~4s が最頻値となっており、その分布の幅も若干小さくなっている。

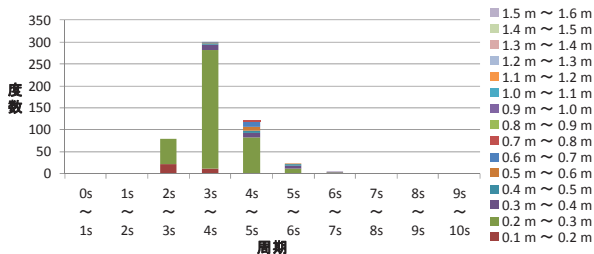
以上のことから、波高計-1 の設置水深が約 10m に対し、波高計-2 および波高計-3 が 5m 程度であることから、周期が水深の影響を受けて変化していることを確認した。



(a) 波高計-1



(b) 波高計-2



(c) 波高計-3

図-6 周期別出現度数

3.4 波高比較(風波・うねり)

波高計-1 と波高計-2 および波高計-3 で観測された有義波高の関係を図-7 に示す。同図には、回帰直線を併記している。この回帰直線の傾きは、波高観測位置における波高の減衰(あるいは増幅)を表している。

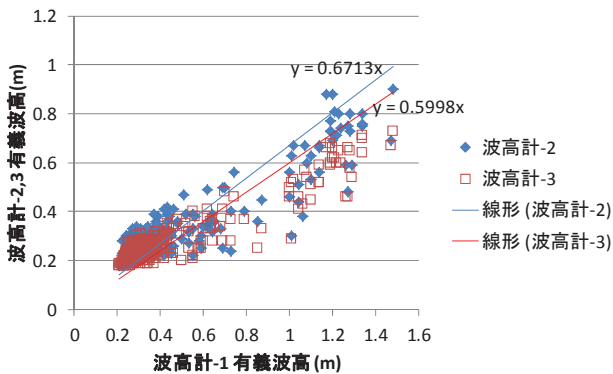


図-7 各観測位置と有義波高の関係

先にも述べたように、波高計-1 は港口に設置し、波高計-2、波高計-3 と港内に向かって奥側に設置している。

波高計-2 および波高計-3 と波高計-1 を比較すると、回帰直線の傾きはそれぞれ0.67および0.59となることから、港口で1mの波が、産業パース前面で0.67m、フェリーパース前面で0.59mまで波が減衰していると言える。

3.5 波高比較(長周期波)

波高計-1 と波高計-2 および波高計-3 で観測された長周期波波高の関係を図-8 に示す。図-7 同様に、回帰直線を併記している。

図-7 に示す風波・うねりの関係図と比較すると、波高そのものは1/2程度と小さい結果となっている。しかし、波高計-2 および波高計-3 と波高計-1 を比較すると、回帰直線の傾きはそれぞれ1.30および1.49となる。

このことから、長周期波の波高そのものは小さいが、港口から港内に向かって減衰せず、むしろ港内奥では大きくなっている傾向があると言える。

風波・うねりは障害物等で反射や回折する際に減衰する傾向にあるが、長周期波はほとんど減衰しないことを確認した。

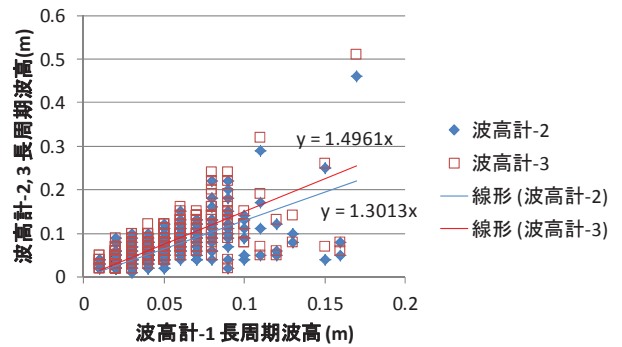


図-8 各観測位置と長周期波波高の関係

4. 船体動揺解析

波浪が荷役作業に及ぼす影響は、係留系の固有振動数と関係しているが、通常、船舶は複数の係留索を多様な方向に係留しているため、固有振動数を求めることは容易ではない。このため、船舶係留時の応答解析を行い、波浪による船体動揺について検討する。

4.1 係留系モデル

応答解析に用いた船舶の主要緒元を表-2に、係留系のモデルを図-9に示す。同図中に示される“F”は係留索、“FEN”は防舷材を意味する。

表-2 船舶主要緒元

全長	68.0 (m)
型幅	11.5 (m)
総トン数	498 (t)

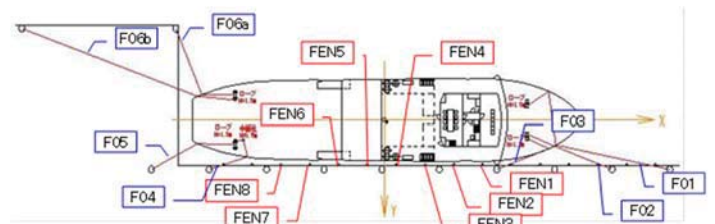


図-9 係留系モデル図

4.2 動揺解析結果

船体係留時に、有義波高 $H_{1/3}=0.1$ (m) の波浪を受けた場合の、船体重心におけるサージング(前後運動)量と波浪周期の関係を図-10 に示す。(a)は風波・うねりを、(b)は長周期波を想定している。また、波方向 0° が船首方向からの入射となる。

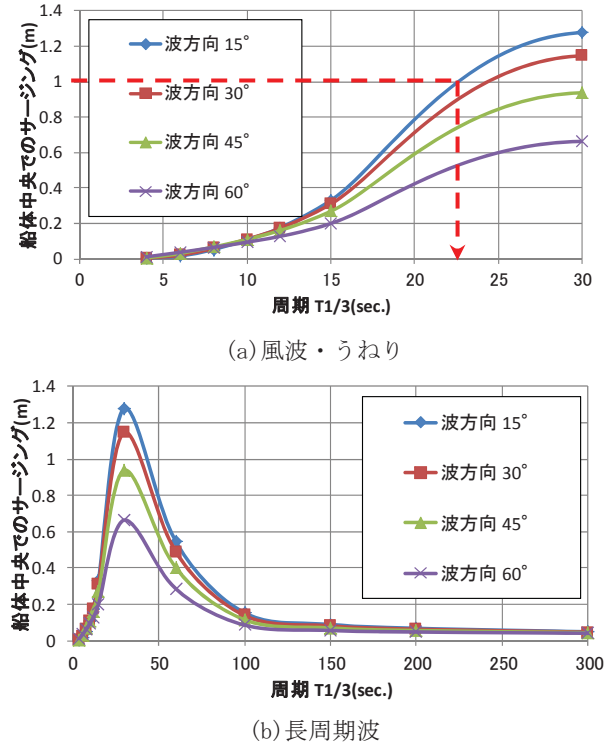


図-10 サージング量と波浪周期の関係

図-10(a)より、重心位置でのサージング量は周期の増大とともに増加し、周期 22s 付近で、1.0m 以上のサージングが生じる。一方、図-10(b)より、サージングは周期 30s が最大で、各波方向とも周期の増大とともに減少する。

これらのことから、本船舶係留時の固有振動数は 20~30 秒付近にあることが想定される。

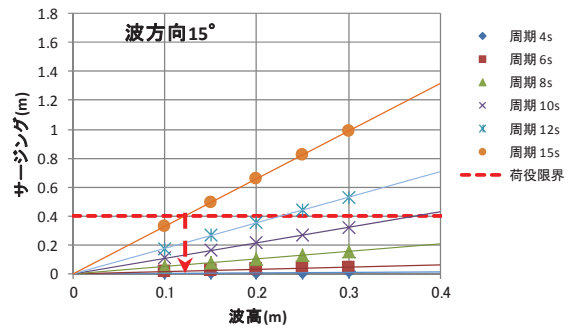
4.3 荷役限界波高

荷役作業が可能な波高の指標である荷役限界波高は、基準書では一般に小型船で 0.3m、中大型船で 0.5m とされている。

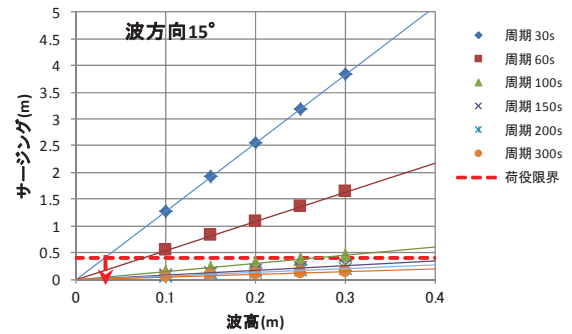
しかしながら、船舶の動揺量は波高だけでなく、船舶の係留系、波浪の周期にも影響を受ける。このため、港湾の稼働率向上にあたっては、これらの影響を考慮したうえで荷役限界波高を求めることが望ましいと考えられる。

図-11 に、波方向 15° の場合の、サージング量と波高の関係を示す。図中に示した荷役限界は、中距離フェリーにおける荷役限界サージング量(0.4m)を示している。

図-11(a)より、周期 15s の風波・うねりに着目すると、荷役限界波高は約 0.12m となり、図-11(b)より、周期 30s の長周期波に着目すると、荷役限界波高は 0.03m となる。このように、荷役限界波高は、対象とする船舶の大きさや波浪の周期により、大きく変化することがわかる。



(a) 風波・うねりによるサージング



(b) 長周期波によるサージング

図-11 荷役限界波高

4.4 港内荷役に対する長周期波の影響

図-12 に、観測結果から得られたフェリーバース前面(波高計-3)における長周期波の出現度数を示す。図-11(b)より、周期 30s の荷役限界波高は 0.03m と非常に小さいが、この周期の波浪は観測されていないため、荷役稼働率に大きな影響はないとみなすことができる。

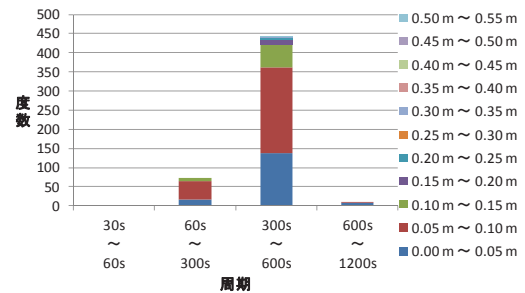


図-12 フェリーバースにおける長周期波出現頻度

5. おわりに

沖縄県内において、港内が静穏とみなせるときでも、船舶が大きく動揺し、荷役作業への障害が発生している港湾がいくつかある。その一つの原因が“長周期波”の影響であると考えられている。しかし、係留船舶の船種や船型によっても異なり、一概に“長周期波”が影響しているとは言えない。

港湾の目標荷役稼働率は“97.5%”とされているが、この目標を達成するためには、現地状況を精度よく把握した上で船舶が影響を受けている波の種類を特定し、それらに対応した対策を実施することが重要と考えられる。

参考文献

- 1) 港内長周期波影響評価マニュアル, 2004年8月