

動揺計測装置を用いた長期観測による作業船の動揺特性の把握

Characteristics of ship motions measured by Observation System of Motions for Working Craft

石見 剛* 白石 悟** 谷口武志***

Go Ishimi, Satoru Shiraishi, Takeshi Taniguchi

Abstract

To carry out marine construction works smoothly, it is important to understand the limit conditions for marine construction works and ship's navigation for refuge in severe sea conditions and to establish countermeasures for safe marine construction works. In this research, the limit conditions of marine construction works are discussed based on the results of long duration field observation of ship motions during marine construction works and navigation for refuge, and numerical simulations on ship motions in waves and winds.

Keywords; Working vessel, Ship motions, Limit conditions of marine construction works, Field observation, Numerical simulation

1. はじめに

我が国の沿岸域における各種の海上工事は、厳しい自然条件の中、多くの作業船を使用して行われており、その施工工程は常に気象・海象条件に左右される。したがって、工事に従事する作業船の動揺ならびに作業限界条件を把握することは、施工計画の策定や施工の可否判定等の実務において非常に重要である。

このようなことから、本研究においては、外洋に面する港湾において、海上作業中および回航中の作業船の動揺を連続観測し、この観測結果と浮体の動揺シミュレーションによる計算結果とを比較して動揺特性の分析を行った。

2. 動揺観測

作業船の動揺観測は主に常陸那珂港、高知港で行った。動揺観測期間は平成7年1月から平成8年12月の間で延べ5ヶ月にわたり実施した。観測の対象とした作業船はいずれも全旋回式の起重機船であり、これらの船舶は主としてブロック据付作業に従事していた。

また、作業船の動揺観測には図-1に示す機器で構成された作業船の動揺計測装置¹⁾を用いた。動揺計測装置は、船体動揺を検出する慣性測定装置 (TMOS-2000) と、データ処理コンピュータからなる。慣性測定装置は、船体の方位角、ローリング角、ピッチング角、ヨーイング角、3軸回りの角速度および3軸方向の加速度を検出する装置である。データ処理コンピュータは慣性測定装置からの出力信号 (並進運動3成分の加速度、ローリング、ピッチング、ヨーイングの角速度お

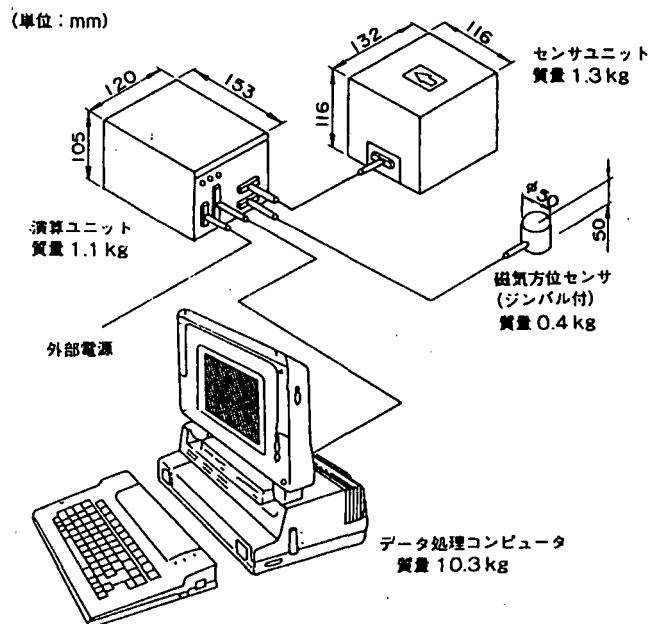


図-1 動揺計測装置の構成図

* 運輸省港湾技術研究所 構造部 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

** 正会員 運輸省港湾技術研究所 構造部

*** (社) 日本海上起重技術協会

よび角度)をA/D変換し、演算処理を行った後に、時系列波形、統計値のトレンド、統計値の数値をコンピュータの画面に表示し、ハードディスクにデータを保存する。

図-2は平成7年1月19日、常陸那珂港において消波ブロック据付工事に従事した起重機船を対象に観測した動揺量のトレンドデータである。この図では、各動揺量について、7分ごとの最大値を□で最小値を●で時間ごとに示している。この時は、作業基地の係留場所において7:00に起重機船のエンジンを起動し、7:30に消波ブロックの積込みを開始した。また、同時刻に動揺計測装置のスイッチをオンにしている。起重機船はその後9:20に出港し、10:00に作業海域に到着している。9:20から10:00にかけ、港外に向けて移動するに従い動揺量は徐々に大きくなっている。また船の針路が変化しているため、この間のヨーイングは他の時間に比べて大きくなっている。そして12:30に作業を終了、13:30に揚錨して帰港に入った。港内に入るにしたがって動揺量は再び小さくなり、14:00に接岸係留している。このように動揺計測装置を用いると曳航海域および作業海域の波浪条件の変化とともに動揺量をリアルタイムにモニタリングすることができる。

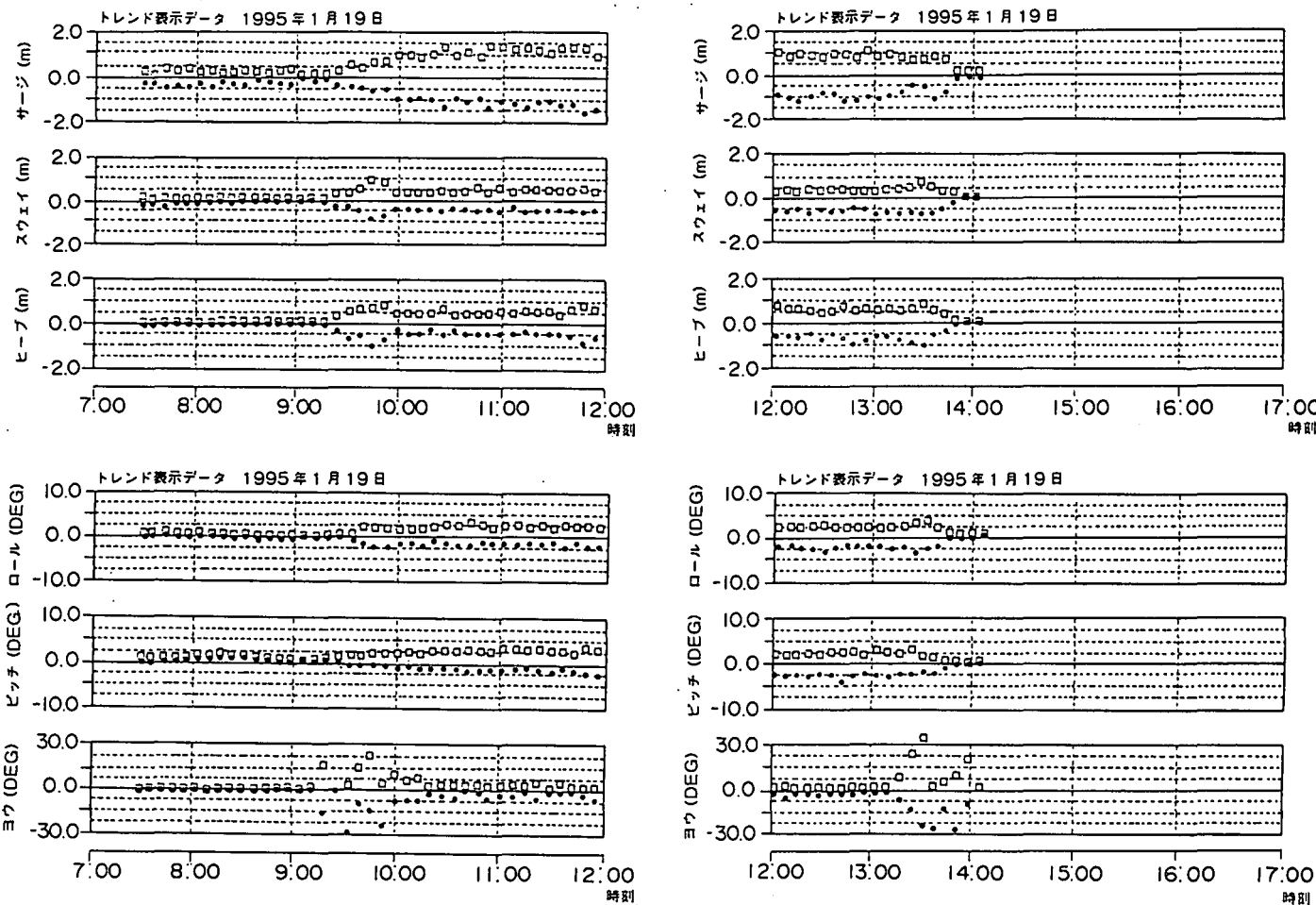


図-2 トレンド表示データ (平成7年1月19日)

3. 動揺シミュレーション

起重機船の動揺シミュレーションは、作業船の動揺量を定性的かつ定量的に把握するため、現地観測した平成7年1月から平成8年12月の期間内より動揺量が多い代表的なケースを選定して実施した。

起重機船の動揺シミュレーションは、港湾技術研究所で開発した船舶の動揺シミュレーションプログラム^{2), 3)}を用いて行った。この動揺シミュレーション中では、波や風などの不規則な荷重の作用を受ける船舶の動揺量を時刻歴毎に計算している。なお、動揺シミュレーション中の流体力係数(付加質量および減衰定数)については既応の研究^{4), 5)}を参考に修正している。

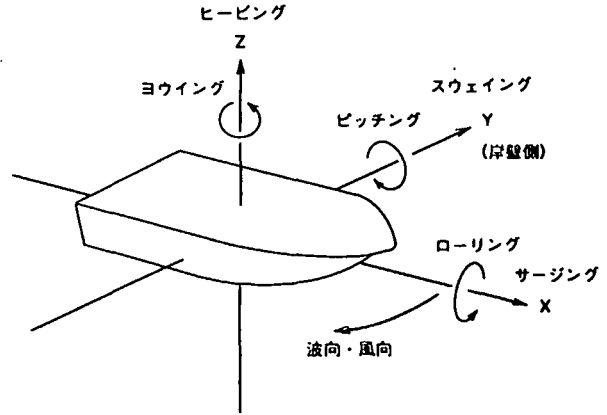
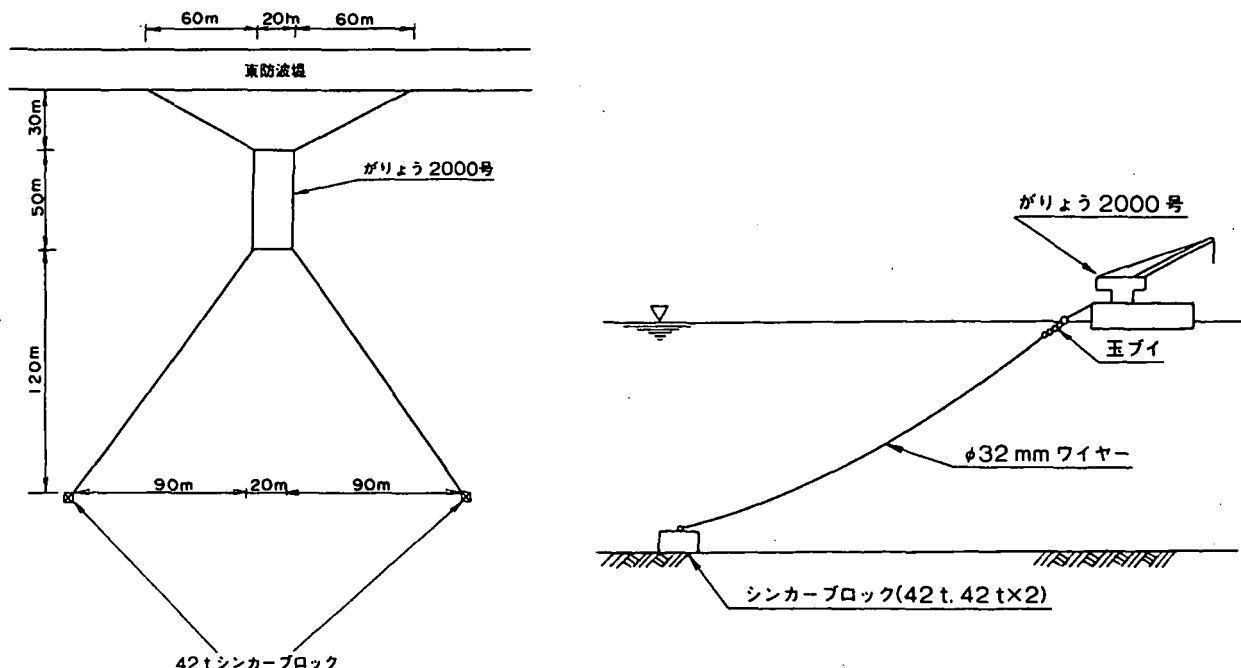


図-3 動揺の正負

また、動揺シミュレーションにおける動揺の正負は図－3に示したとおりである。動揺シミュレーションにおいては、逐次積分によって対象船舶の動揺量等を求めるが、逐次積分のタイムステップは0.20s、積分の回数は6000ステップとした。つまり、実時間にして1200s（20min）に相当する計算を行った。

なお、ブロック据付作業時において、起重機船は図－4に示した例のように多くはワイヤー等の係留索を用いて4点係留されている。このような場合は、係留索の変位復元力特性を実際の特でモデル化するのがよいが、ここでは係留索がワイヤーであることから引張弾性係数^⑥に基づいて線形ばねとしてモデル化し、動揺シミュレーションの際に考慮している。



図－4 作業船係留状況図（平成7年1～3月）

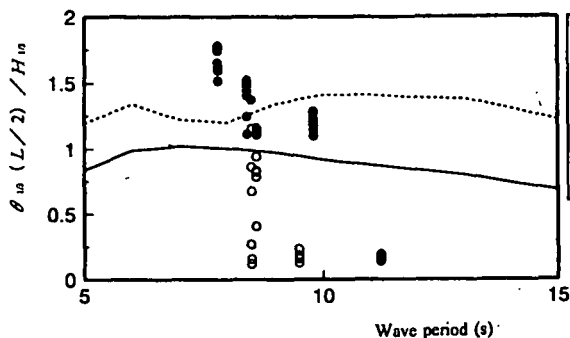
4. 動揺観測結果と動揺シミュレーション結果との比較

4. 1 作業時の動揺量

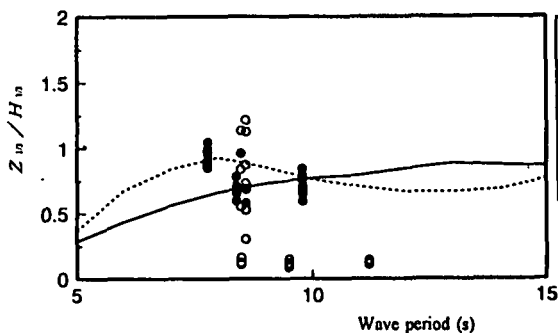
図－5は平成7年1月19日、常陸那珂港において実施された防波堤の消波ブロック据付工事における動揺計測記録のうち、ピッチングとヒービングの動揺有義両振幅の無次元値、すなわち、ピッチングは動揺有義両振幅 $\theta_{1/3}$ に船長の半分($L/2$)を乗じて有義波高 $H_{1/3}$ で除した値（船首部における単位波高あたりの沈下量の振幅を表す）、ヒービングは動揺有義両振幅 $Z_{1/3}$ を有義波高 $H_{1/3}$ で除した値を示している。また図の横軸は有義波周期を、縦軸は動揺有義両振幅の無次元値を示している。ただし、図中の●は防波堤の前面に係留して作業していた際（10:00～13:30）の動揺量の観測値に対応し、○は作業現場への曳航中あるいは、作業基地において岸壁に係留し、準備作業を行っているときの動揺量の観測値である。

なお、動揺量の無次元化は、作業船が港内で係留もしくは曳航されている場合についても、すべて港外の波高に対して行っている。また、この時の波向 150° （船体の斜め後方）に対する動揺量の計算値は、防波堤による反射波の影響を考慮しない場合を実線で、考慮した場合を点線で示している。

反射波の影響を考慮したピッチングの動揺量の計算値は、影響を考慮しない計算値よりも大きく約1.5倍程度であり、観測値ともおおむね一致する。また、反射波の影響を考慮したヒービングの計算値は、反射波を考慮しない時に比べて波周期10s以下では大きくなり、逆に10s以上では小さくなる。観測値との対応は、反射波を考慮したときの方が良好である。なお、○で示されるデータのうち、動揺量の計算値（実線及び点線）よりも大幅に小さな値を示すものは、防波堤内側のより遮蔽された海域において船舶が曳航もしくは係留されている時の観測値である。



(1) ピッチング



(2) ヒーピング

図－5 作業時の動揺量（平成7年1月19日：波向150°）

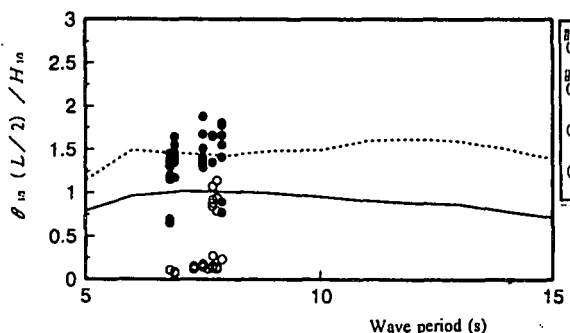
図－6は、同じく常陸那珂港で波浪条件の厳しかった平成7年10月29日に実施された消波ブロック据付工事における動揺計測記録のうち、ピッチングとヒーピングについて有義両振幅の無次元値を示したものである。図中の●は係留して作業していた際の動揺量の観測値に対応し、○は作業現場への曳航中あるいは、作業基地において岸壁に係留し、準備作業を行っているときの動揺量の観測値である。また、波向に対する動揺量の計算値は、防波堤による反射波の影響を考慮しない場合を実線で、考慮した場合を点線で示している。なお同日の波向は169°（船体の斜め後方）であった。

図中に点線で示した反射波の影響を考慮した動揺量の計算値は、ピッチングではいずれの波周期でも反射波の影響を考慮しない動揺量の計算値を上回る傾向にある。

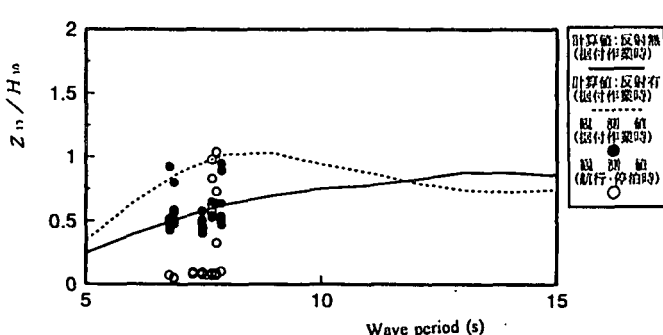
ヒーピングでは、図中に点線で示した反射波の影響を考慮した動揺量の計算値は、波周期12s以下の短周期側において反射波の影響を考慮しない動揺量の計算値を上回り、これとは逆に波周期12s以上の長周期側では反射波の影響を考慮しない計算値を下回る傾向にある。

また、図中に●で示した据付作業時の動揺量の観測値の多くは、実線で示した防波堤からの反射波の影響を考慮しない動揺量の計算値よりも大きくなっている。一方、点線で示した反射波の影響を考慮した動揺量の計算値は反射波の影響を考慮しない計算値よりも、より観測値に一致する傾向にあることがわかる。なお、図中の○は、作業基地に係留中あるいは現場への曳航中の動揺量の観測値である。特に小さな動揺量を示している○は作業基地に係留中の動揺量であり、当該海域における波高が港外波高に比べて小さいので、航行中あるいは現場における作業中の動揺量と比べて極めて小さいことがわかる。

以上示したように、動揺量の観測値と計算値とは一部に若干の相違があるもののピッチング、ヒーピングの動揺量の観測値は防波堤による反射波の影響を考慮した計算値とおおむね一致する結果が得られており、動揺シミュレーションの再現性が高いと言える。



(1) ピッチング

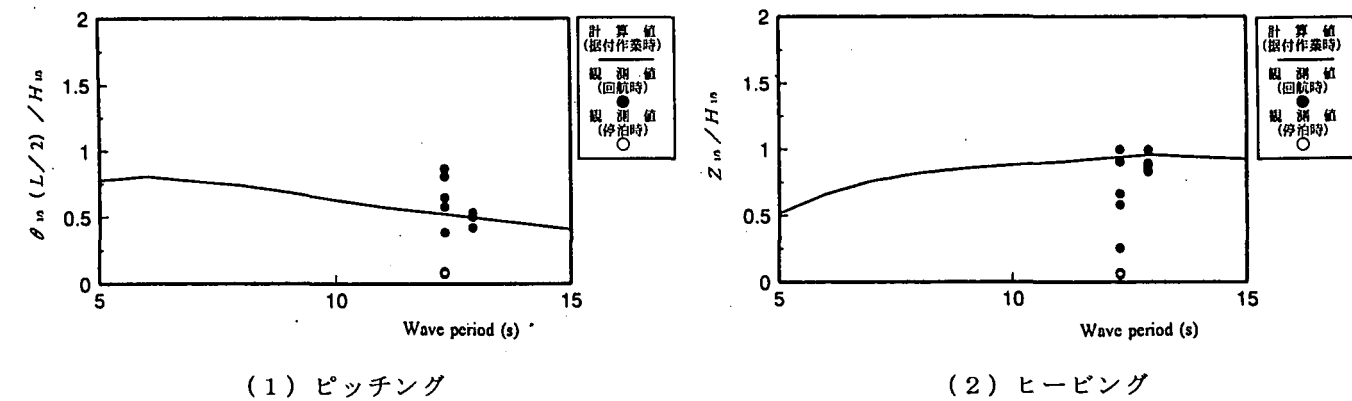


(2) ヒーピング

図－6 作業時の動揺量（平成7年10月29日：波向169°）

4. 2 曳航（避難回航）時

図－7は平成7年1月29日に常陸那珂港から那珂湊港へ曳航（避難回航）された際のピッチングとヒービングの動揺有義両振幅の無次元値を示したものである。このときは、作業船は有義波高が2.0～2.5mの波浪条件の下で回航されている。図中の●は航行中の動揺量の観測値を示しており、ばらつきはあるものの計算値と観測値とはおおむね一致している。一部に計算値との差のある点が含まれているが、これは船舶が港内に入ったことから、動揺量が港外で曳航されているときの値よりも小さくなっているためである。また図中の○は、港内で係留中の動揺量の観測値を示すが、航行中の動揺量に比べて極めて小さいことがわかる。



図－7 曳航時の動揺量（平成7年1月29日：波向60°）

5. 動揺が乗組員に及ぼす影響について

海上工事に従事する船舶では、動揺が引き起こす乗組員の酔いも作業性に及ぼす一つの要因となる。この酔いは主として動揺加速度に左右され、特に問題となるのは1 Hz以下の低周波数の動揺である。

船酔いに関する実験結果によれば、船酔いは船体上下方向加速度と密接に関連しており30gal以下の加速度でも約半数の人が軽度の船酔いを感じるとの結果が得られている¹⁾。また、表－1はこれらの実験結果を踏まえ、動揺加速度を3つのレベルに区分し基準値として示したものである。

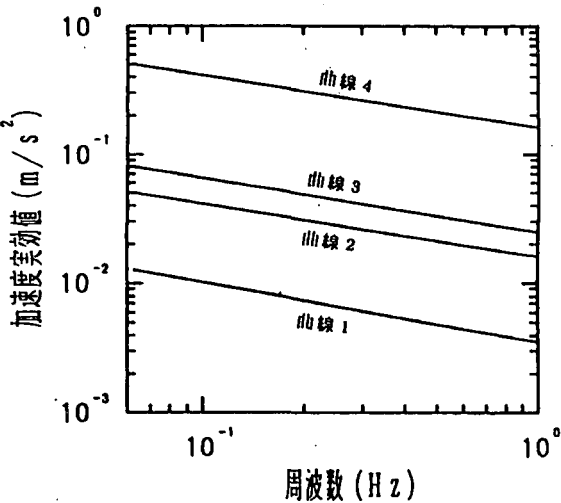
動揺観測に用いた計測装置では加速度をリアルタイムに表示することが可能であることから、前出の表－1を用いることにより乗組員の酔いに対する動揺の影響をある程度把握する事が出来る。しかしながら、酔いや長期間乗船することによる酔いに対する慣れの効果は個人差が大きく、これまで定量的な分析結果を得るに至っていない。なお、動揺計測装置により加速度成分の時系列をすべて保存する事は可能ではあるが情報量が膨大になるため、現行の機器構成では基本的に統計量のみを保存することとしている。

また、酔いは、動揺因子のみだけでなく作業環境や生活環境、すなわち明るさや温度、解放感、陸上とのアクセス等の因子も考慮して総合的に判断しなければならない。これらの因子の影響については人間の主観による問題が多く、アンケート調査により分析がおこなわれてはいるものの、現状では定量的に評価し、動揺との関連もふまえて総合的に規定出来る段階に達し

表－1 加速度レベルの分類

分類	加速度	説明
A	図－8 曲線3	一般成人が任意姿勢で苦情レベル2%
B	10 gal (0.1m/s ²)	船酔い症状発生限界 机上作業にやや支障
C	20 gal (0.2m/s ²)	歩行・昇降が困難になる (25gal では机上作業困難)

曲線1：人間によって知覚される水平振動の低位（敏感な人の）知覚閾
曲線2：人間によって知覚される水平振動の平均知覚閾
曲線3：一般用途建築物の満足すべき水平振動の大きさ
曲線4：固定式海洋構造物の満足すべき水平振動の大きさ



図－8 ISO6987に見る知覚域と基準値

ていないと思われる。しかしながら、将来的には海上作業中のこの種のデータを蓄積する事によって、より明確な規定値を設定できるものと考えられる。

6. おわりに

現地観測結果およびそれに対応して実施した動揺シミュレーション結果ならびに動揺が乗組員に及ぼす影響についてとりまとめる。

①作業船の動揺計測装置を用いて長期間にわたる実船観測を行った結果、本システムは、航行時および係留時の動揺を極めて安定して取得できることが確認された。本システムを用いれば、ローリング、ピッチング、ヨーイングの動揺量、並進3成分の加速度をリアルタイムに表示することができる。また、加速度記録を積分して得られるサージング、スウェイング、ヒービングの動揺の時系列も表示できる。また、これら諸量の統計量をトレンド表示することにより、海象条件の変化に伴う動揺量の推移が容易に把握することができる。すなわち気象・海象条件の予報・予測と本システムを併用することにより作業の継続および中止の判断を的確に下す際の有効な判断材料を与えることができる。

②実船観測により、波周期、船舶に作用する相対波向と動揺量の関係が定量的に把握された。

③動揺計測装置で計測した作業船の動揺記録は動揺シミュレーション結果ともおおむね一致する。ただし、防波堤の前面における作業等については、反射波の影響を考慮して評価する必要がある。

④現地観測では、その期間中に作業限界となる条件に出会う機会が必ずしも多くないので、作業を中止したときの状況（波浪条件等）を収集し、これと動揺シミュレーションを併用して作業中止基準および避難基準を検討するのが良い⁸⁾。

⑤動揺計測装置では、リアルタイムに動揺の加速度成分を表示することが可能であるので、そのデータを元に乗組員の酔いに対する影響を把握することができる。

なお、本研究の実施にあたり、(社)日本海上起重技術協会に設置された「海上起重作業の作業限界および避難指針検討調査委員会」の委員各位に熱心な御議論をいただいた。

参考文献

- 1) 白石悟, 米山治男, 上田茂, 谷口武志, 伊藤公明, 小斉弥祐: 作業船の動揺計測装置の開発および実船観測, 港湾技研資料, No. 799, 1995. 3, 38p.
- 2) 上田茂, 白石悟: 係留船舶の動揺計算法とその評価, 港湾技術研究所報告, 第22巻第4号, 1983. 12, pp. 181~218
- 3) 上田茂, 樋口豊志: 起重機船の動揺特性と稼働条件, 港湾技研資料, No709, 1991. 6, 92p.
- 4) 上田茂, 白石悟: 大型矩型浮体の波浪中の動揺と係留力に関する研究(第2報) - 数値シミュレーション手法について -, 港湾技術研究所報告, 第19巻第3号, 1980. 9, pp. 105~143
- 5) 3) 資料p. 29
- 6) 関西造船協会編: 造船設計便覧(第3版), 海文堂, 1976. 3, p. 274
- 7) (社)日本造船学会 海洋工学委員会 設計部会: 浮遊式海洋構造物の居住性に関する調査研究報告書, 1994. 9, 65 p.
- 8) 白石悟, 石見剛: アンケートおよび動揺シミュレーションによる作業船の海上作業限界条件に関する検討, 港湾技研資料, 1998. 3, 77p