

港湾技術資料

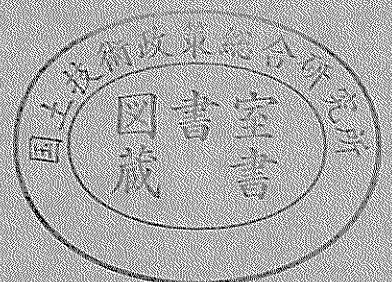
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 709 June. 1991

起重機船の動揺特性と稼働条件

上 田 茂
樋 口 豊 志

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. まえがき	4
2. 起重機船の現地動揺実態観測	4
2. 1 大型起重機船の現地動揺実態観測	4
1) 概要	4
2) 測定システム	4
3) 動揺実態観測結果	7
2. 2 中型起重機船の現地動揺実態観測	7
1) 概要	7
2) 測定システム	7
3) 動揺実態観測結果	11
2. 3 小型起重機船の現地動揺実態観測	14
1) 概要	14
2) 測定システム	14
3) 動揺実態観測結果	15
4) 小型起重機船の動揺の数値シミュレーション	16
3. 起重機船の動揺の模型実験	23
3. 1 実験概要	23
1) 実験水槽，模型起重機船の諸元および配置	23
2) 計測項目および計測システム	23
3) 実験条件および実験ケース	27
3. 2 実験結果	28
1) 模型起重機船の動揺の固有周期および減衰定数	28
2) 起重機船の動揺の周期特性	29
3) 起重機船の動揺と波高との関係	41
4) 起重機船の動揺と波向との関係	41
5) 吊荷の動揺および吊荷張力	49
6) 係留力	59
7) 模型実験結果と数値シミュレーション結果との比較	59
4. 稼働限界の波浪条件	69
4. 1 概要	69
4. 2 稼働限界の波浪条件設定の手順	69
4. 3 起重機船の動揺シミュレーション	69
4. 4 稼働限界の波浪条件	83
5. あとがき	92
参考文献	92

起重機船の動揺特性と稼働条件

上 田 茂 *

樋 口 豊 志 **

要 旨

大水深海域における海上起重作業における起重機船の稼働特性，起重機船の作業限界の把握に資する目的で，起重機船の現地動揺実態観測，模型実験ならびに数値シミュレーションを行って起重機船の動揺特性を把握した。

現地動揺実態観測は和歌山港，門司港から熊本港の海上，熊本港ならびに相馬港において実施した。和歌山港においては3,000トン吊りの大型起重機船の，ケーソン吊り上げ時，曳航時，ケーソン据付時の動揺を測定し，大型起重機船の作業時の動揺特性，波および風の作用による動揺特性を解析した。門司港から熊本港の海上および熊本港においては，700トン吊りの中型起重機船の回航中，ケーソン吊上げ時および据付時ならびに曳航時の起重機船の動揺，ケーソンの動揺を測定し，中型起重機船の作業時の動揺特性，波および風の作用による動揺特性を解析した。また，相馬港においては125トン吊りの小型起重機船のブロック据付時の動揺を測定した。

模型実験は3,000トン吊りの起重機船の1/50のモデルを用い，港湾技術研究所の平面水槽で行ったが，大型起重機船および中型起重機船を想定して波浪条件を変え，波周期，波高および波向などの波浪条件と，起重機船の動揺および動揺周期，係留力，ならびに吊荷の動揺および吊荷張力の増減率との関係を求めた。

数値シミュレーションにおいては起重機船と吊荷との連成を考慮したプログラムを作成し，数値シミュレーションを行いその結果と模型実験結果および現地観測結果とを比較した。

さらに，起重機船および吊荷の許容動揺量を仮定して，数値シミュレーションの結果に基づいて起重機船の稼働限界の波浪条件を求めた。

本研究の主要な成果は以下のとおりである。

a. 現地動揺実態観測について

- (1) 大型起重機船および中型起重機船の曳航時に大きな動揺量が観測されたが，とくに長周期波の影響が大きいことが確認された。
- (2) 中型起重機船の曳航時に荒天に遭遇し避泊した。曳航再開後にはローリングおよびピッチングの動揺両振幅の有義値の最大はそれぞれ 6.47° および 2.37° であった。これらは曳航限界の動揺量に近い値であると考えられる。
- (3) 大型起重機船と中型起重機船の港内におけるケーソン据付時の動揺量は港内の波浪条件が穏やかであったので小さかったが，小型起重機船の動揺実態調査においては，低気圧の影響で16s程度の長周期波が港内に侵入していたので大きな動揺が観測された。
- (4) 加速度計と角速度計から構成される動揺測定機が起重機船等の浮体の動揺計測に有効であることが確認された。

b. 模型実験について

- (5) 起重機船の動揺と，波周期，波高，波向などの波浪条件との関係および起重機船の動揺特性が明らかになった。

* 構造部海洋構造研究室長

** 構造部海洋構造研究室

- (6) 吊荷の有無が起重機船の動揺量に与える影響は長周期波ほど顕著であるが、吊荷がないときの動揺が最も大きく吊荷荷重が大きくなるに従い動揺が小さくなる。
- (7) 吊荷の動揺には起重機船のヒービング、ローリングおよびピッチングの影響が大きい。
- (8) 吊荷の動揺に伴い吊荷張力が増加するが、吊荷張力の増加率と起重機船の動揺との関係が明らかになった。
- (9) 起重機船および吊荷の動揺の実験値と計算値とはよく一致した。

c. 稼働限界の波浪条件について

- (10) 起重機船の不規則波中における動揺計算を行い、また、起重機船および吊荷の稼働限界の動揺量を仮定して、起重機船の稼働限界の波浪条件を検討するための資料を作成した。

その結果、大水深における起重作業は、長周期波の影響を受けることにより起重機船および吊荷の動揺が大きくなるので、稼働限界の波浪条件が厳しくなることが予測された。

キーワード：起重機船、動揺、稼働限界条件、吊荷、係留力、動揺シミュレーション

1. まえがき

21世紀に向けて、我が国の社会および経済の発展のためには、港湾を核とする沿岸域（ウォーターフロント）の開発の推進が重要であるが、そのために沖合人工島に代表される海洋施設の建設を積極的に推進する必要がある。将来、海洋施設が建設される海域は一層沖合の大水深海域になるので、これを構成する海洋構造物の建設技術の整備を図ることが重要であるが、とりわけ大規模な海洋構造物の建設における海上起重技術の向上を図ることが必要である。本研究においては、起重機船の現地動揺実態観測、模型実験および動揺シミュレーションを行い、起重機船の動揺特性、起重機船の稼働限界の把握に資する。

2. 起重機船の現地動揺実態観測

2. 1 大型起重機船の現地動揺実態観測

1) 概要

3,000トン吊りの大型起重機船において、ケーソン吊り上げ時、曳航時、ケーソン据付時の動揺を測定し、大型起重機船の作業時の動揺特性、波および風的作用による動揺特性を解析した。動揺実態観測においては、起重機船の動揺、ケーソンの吊り上げ時および据付時ならびに曳航時の挙動、揚程、吊り上げ荷重、起重機船の喫水、起重機船上における作業状況、曳航速度、風向・風速、波高および周期などを測定・調査した。現地における計測は夏季と冬季の合計2回とし、ケーソンの吊り上げ、曳航、据付、回航における起重機船の動揺を測定した。図-2.1は実験場所の平面図、表-2.1および図-2.2は起重機船の規格等を示したものである。写真-2.1は起重機船の全景である。

2) 測定システム

動揺実態観測においては、ケーソンの吊り上げ時および据付時ならびに曳航時の起重機船の動揺、揚程、吊り上げ荷重、起重機船の喫水、起重機船上における作業状況、曳航速度、風向・風速、波高および周期などを測定・調査した。

図-2.3は起重機船の動揺成分を示したものであるが、そのうちサージング、スウェイング、ヒービングは加速度計で測定した加速度を2回積分して、また、ローリングおよびピッチングは傾斜計で、ヨウイングは振動ジャイロで測定した角速度を積分して求めた。

吊り上げ荷重、揚程、風向・風速は、起重機船に装備された荷重計、揚程計、風向・風速計にて測定した。また、港外波高は和歌山港工専事務所の波高観測記録を参考にするとともに、下津港内において港内波高を表尺で測定した。ただし、下津港内の波高は小さかったので、第2回観測では港内波高の測定は行わなかった。写真-2.2は動揺測定用のセンサーである。

サーボ型加速度計および振動ジャイロの記録は動ひずみアンプで増幅してカセットデータレコーダに集録した。ケーソンの吊り上げ荷重は起重機船に装備されている荷重計の指示値を読んで記録した。また、ケーソンの動揺をビデオカメラによって撮影した。

なお、現地動揺実験に先立って、計測システムの可否を判定するために、室内における予備実験を行った。その結果、起重機船がサージングまたはスウェイングを行うとき、傾斜計の感度方向が動揺の方向に一致するときには傾斜計にサージングおよびスウェイングによる出力が検出される。したがって、実船においてサージングとピッチングまたはスウェイングとローリングが同時に起こる場合には、これらの動揺がサーボ加速度計および傾

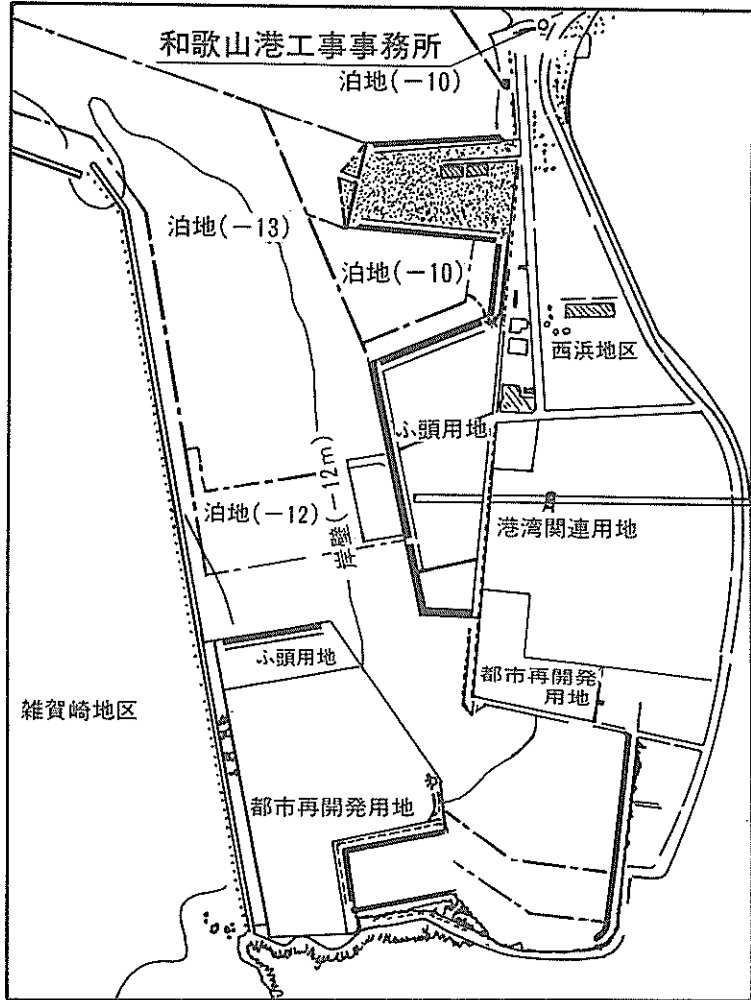


図-2.1 実験場所の平面図

表-2.1 起重機船の規格等 (3,000トン吊り)

船 体 部	長さ	95.40m	
	幅	41.00m	
	深さ	7.50m	
	吃水	4.30m	
起 重 機 部	型式	ジブ起伏式	
	主	定格重量	3000t(750t×4)
		アウトリーチ	33m
		巻上高さ(水面上)	83m
	巻	巻上高さ(水面下)	5m
		巻上速度	0.8m/min

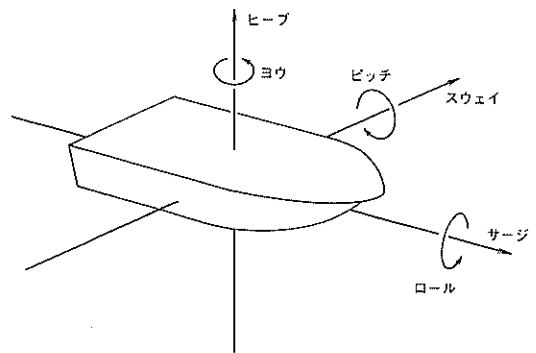


図-2.2 動揺成分の定義

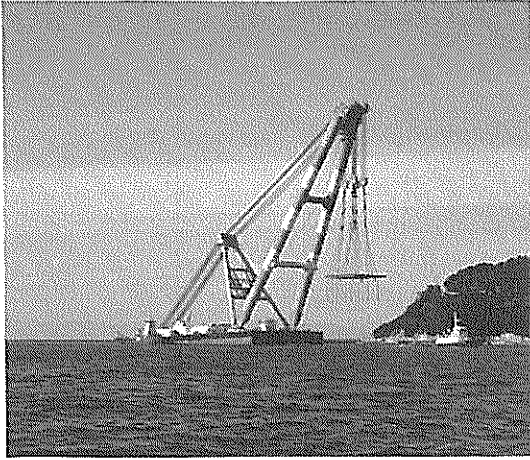


写真-2.1 起重機船の全景 (3,000トン吊り)

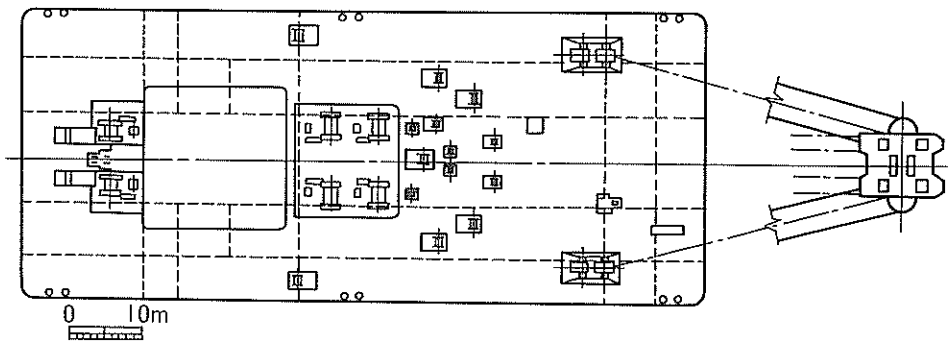
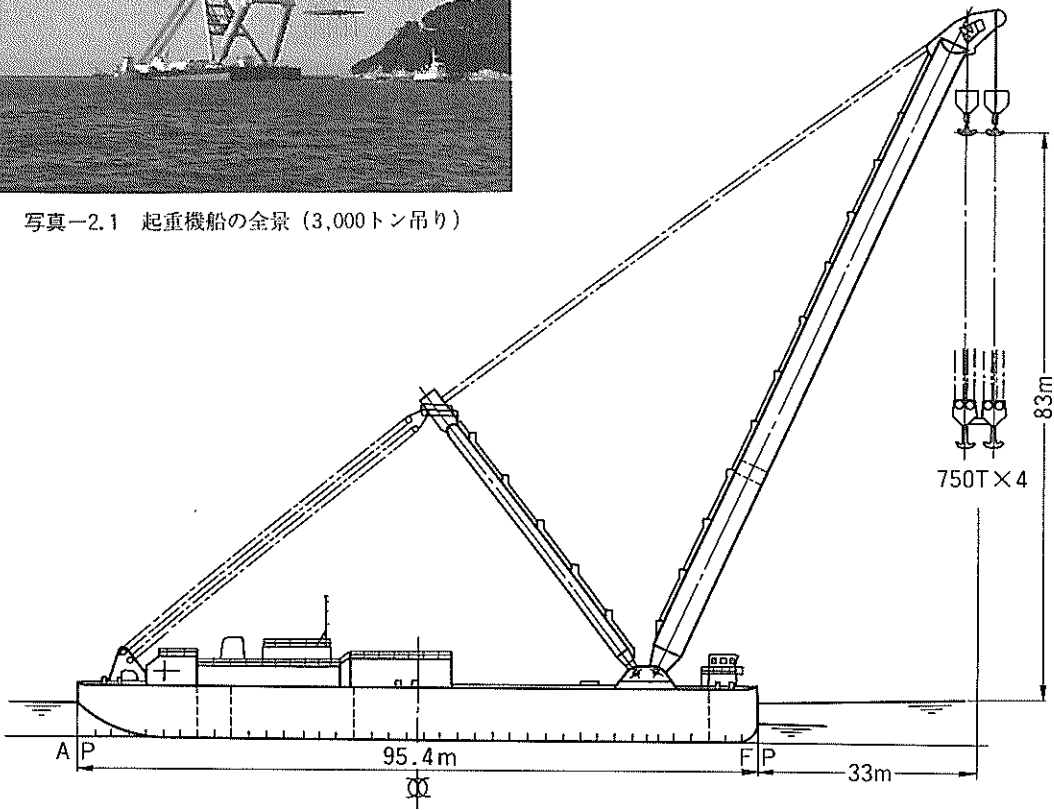


図-2.3 起重機船の規格等 (3,000トン吊り)

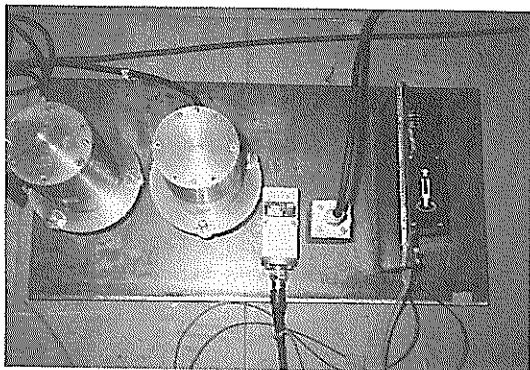


写真-2.2 動揺測定用のセンサー

斜計のいづれにも検出されることになって、正しく動揺を計測することができない。ただし、サージングとピッチング、または、スウェイングとローリングの動揺周期が相互に異なり明瞭に区別できるような場合、あるいは、サージングおよびスウェイングの動揺量が小さい場合には、このようにして測定した記録をフーリエ級数に展開し不要な周波数帯の成分を除いて合成することによって、それぞれの動揺を推定する事が可能であると考えた。

3) 動揺実態観測結果

a. 概要

第1回目の動揺実態観測は、昭和62年9月11日および12日の両日実施した。太平洋沖には台風13、14、15号が停滞し前線が本州全土を覆いゆっくりと南下しつつあった。このため、台風の余波が太平洋岸に押し寄せ、波高観測記録によれば13~14sもの長周期波が観測されている。

第2回目の動揺実態観測は、昭和63年2月1日および2日の両日実施した。2月1日は高気圧に覆われ温暖な天候であったが、2月2日は午後から前線の通過が予想され冬型の気圧配置が強まりつつあった。このため、2月2日の計測は実施が危ぶまれたが、幸いにも下津港に帰港するまでは風速はさほど強くはなかった。しかし、その直後には瞬間風速が15m/sを超える突風が吹き、そのため翌日に行う予定であった3箇目のケーソンの据付作業は中止された。ただし、第1回の測定のとくと比べると波周期は3~6sと短く、また港外の波高もたかだか1m程度であった。

b. 動揺実態観測結果

取得したデータは、長時間にわたる全記録を区分して解析を行った。ただし、振動ジャイロのデータにトランシーバ等のノイズが混入したものがあり、この影響で他の動揺成分の記録にもノイズが混入した。ノイズは短周

期成分を除去するだけでは十分に消去しきれず、結果として異常箇所として残ったものがある。また、スウェイングはサーボ加速度計が不良のため計測不可能であった。動揺量の解析においては、サーボ加速度計によるサージング、スウェイング、ヒービング、また、振動ジャイロによるヨウイングは原記録をフーリエ級数に展開した後、長周期および短周期成分を除去し、それぞれ2回または1回積分して動揺量とした。また、ローリングおよびピッチングは傾斜計による記録を整理した。

表-2.2は、第1回目の計測におけるケーソンの吊り上げ時および据付時ならびに曳航時の起重機船の動揺のうち、各動揺成分ごとに最も大きいものを取りまとめたものである。9月11日の回航中（復路ケーソン無し）にはサージング52.4cm、ヒービング112.6cm、また、9月12日の回航中（復路ケーソン無し）にはサージング173.5cm、ヒービング108.4cmなどかなりの大きな動揺が計測された。これらの動揺周期は13~16sと長く、長周期波の影響を受けたものと考えられる。しかし、ケーソンの吊り上げ時および据付時は港内であったので起重機船の動揺量は小さかった。なお、和歌山港工事事務所の波高観測施設で観測された波高記録には、11s~14sもの長周期波の記録がみられた。

表-2.3は、第2回目の観測におけるケーソンの吊り上げ時および据付時ならびに曳航時の起重機船の動揺のうち、各動揺成分ごとに最も大きいものを取りまとめたものである。しかしながら、第1回目の観測に比べると動揺量が小さい。波高観測記録によると、波周期は3~6sであり、第1回動揺実態観測に比べると周期が短い。

2. 2 中型起重機船の現地動揺実態観測

1) 概要

700トン吊りの中型起重機船において、回航中、ケーソン吊り上げ時および据付時ならびに曳航時の起重機船の動揺、ケーソンの動揺を測定し、中型起重機船の作業時の動揺特性、波および風的作用による動揺特性を解析した。動揺測定は、門司港から熊本港までの回航中および熊本港において軟着底ケーソンの吊り上げ時、曳航時、据付時に行った。表-2.4および図-2.4は起重機船の規格等を示したものである。写真-2.3は起重機船の全景である。

2) 測定システム

動揺実態観測においては、吊り上げ時および据付時ならびに曳航時の起重機船の動揺、ケーソンの吊り上げ時および据付時ならびに曳航時の挙動、揚程、吊り上げ荷重、起重機船の喫水、起重機船上における作業状況、曳

表-2.2 起重機船の動揺量 (第1回目の計測)

作業状況	SURGE(cm)			HEAVE(cm)			ROLL(deg)			PITCH(deg)			YAW(deg)			
	X _{1/3}	T _{X1/3}	T _{X1/3}	Z _{1/3}	T _{Z1/3}	T _{Z1/3}	θ _{1/3}	T _{1/3}	T _{1/3}	φ _{1/3}	T _{1/3}	T _{1/3}	φ _{1/3}	T _{1/3}	T _{1/3}	
1日	ケーソン吊り上げ時	-	-	8.01	14.16	0.12	0.12	15.32	0.08	3.50	1.13	16.69				
	曳航中(往)	39.69	13.23	18.32	14.67	0.92	0.92	12.43	0.39	10.83	0.44	14.18				
	ケーソン据付時	-	-	11.41	14.70	0.22	0.22	11.15	0.16	74.51	0.63	13.37				
2日	曳航中(復)	52.35	13.41	112.57	13.53	1.12	1.12	10.25	0.76	9.85	0.79	17.99				
	ケーソン吊り上げ時	0.81	15.72	10.58	14.79	0.41	0.41	19.27	11.92	1.22	0.85	15.45				
	曳航中(往)	82.03	12.25	57.79	13.88	1.41	1.41	10.97	0.48	10.95	0.48	13.74				
	ケーソン据付時	-	-	16.73	14.92	0.16	0.16	14.33	0.11	6.03	0.64	15.38				
	曳航中(復)	173.49	12.63	108.44	13.20	1.31	1.31	10.40	0.89	11.19	0.67	12.72				

表-2.3 起重機船の動揺量 (第2回目の計測)

作業状況	SURGE(cm)			SWAY(cm)			HEAVE(cm)			ROLL(deg)			PITCH(deg)			YAW(deg)			
	X _{1/3}	T _{X1/3}	T _{X1/3}	Y _{1/3}	T _{Y1/3}	T _{Y1/3}	Z _{1/3}	T _{Z1/3}	T _{Z1/3}	φ _{1/3}	T _{1/3}	T _{1/3}	θ _{1/3}	T _{1/3}	T _{1/3}	φ _{1/3}	T _{1/3}	T _{1/3}	
1日	曳航中(往)	5.72	12.13	37.40	10.50	17.63	17.28	0.44	2.27	0.18	2.40	12.36							
	曳航中(復)	5.31	11.47	12.14	10.26	13.75	11.27	0.16	4.58	0.10	1.57	10.97							
2日	曳航中(往)	9.56	12.09	37.82	12.39	20.73	16.45	0.30	8.25	0.11	5.98	14.63							
	停止中	11.93	11.84	40.13	9.92	16.29	12.01	0.29	8.98	0.15	7.88	13.48							
	曳航中(復)	4.40	13.30	13.30	10.62	10.85	11.91	0.12	5.61	0.08	3.70	10.97							

表-2.4 起重機船の規格等 (700トン吊り)

船体	長さ	63.00 m						
	幅	26.40 m						
	深さ	4.50 m						
巻揚能力	ジブ傾斜角度	65°	60°	55°	45°	35°	25°	
	主巻	定格荷重	700 t	700 t	650 t	400 t	240 t	110 t
		揚程	58.8 m	56.4 m	53.9 m	48.5 m	42.5 m	—
		張出距離	20.4 m	25.2 m	29.6 m	35.8 m	43.1 m	—
巻上速度	主巻	1.7 m/min						
	一本吊	20 m/min						

注) 揚程は定格負荷時、張出距離は無負荷時を示す。

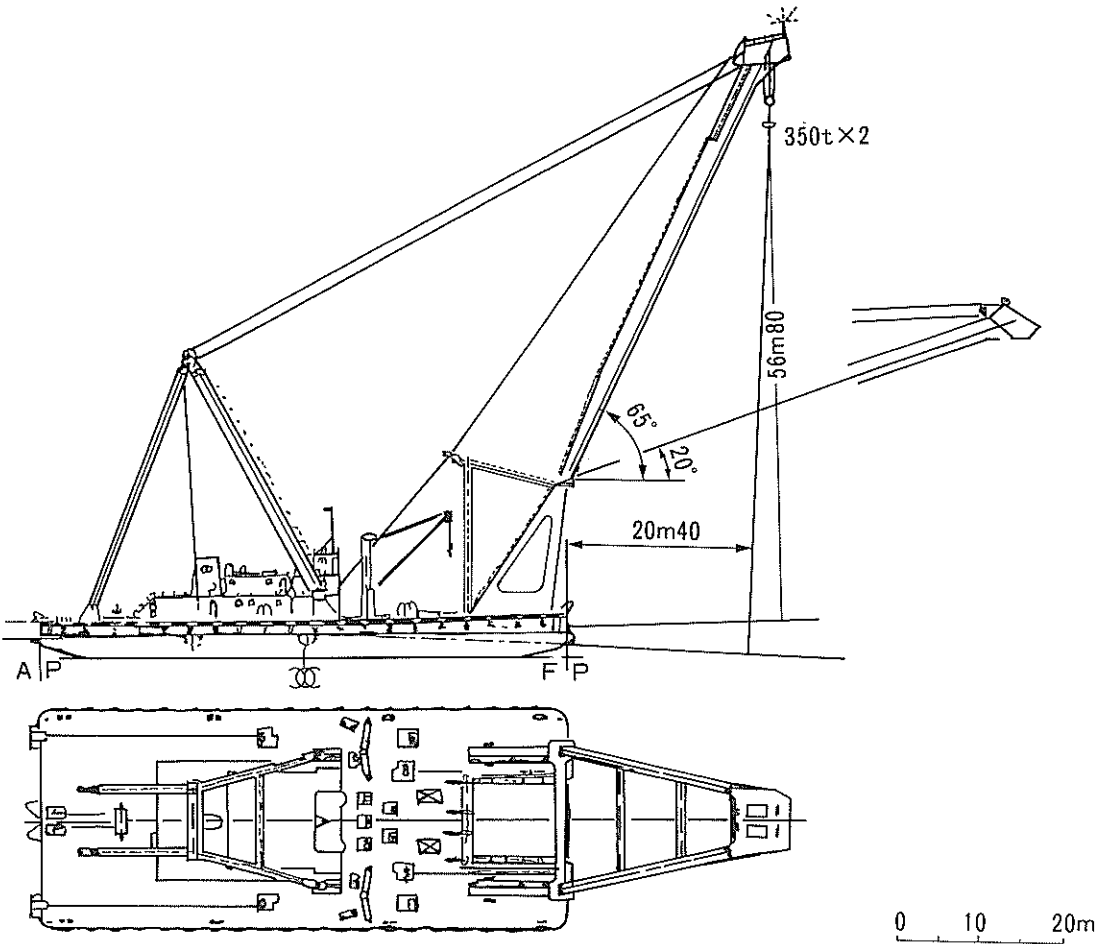


図-2.4 起重機船の規格等 (700トン吊り)

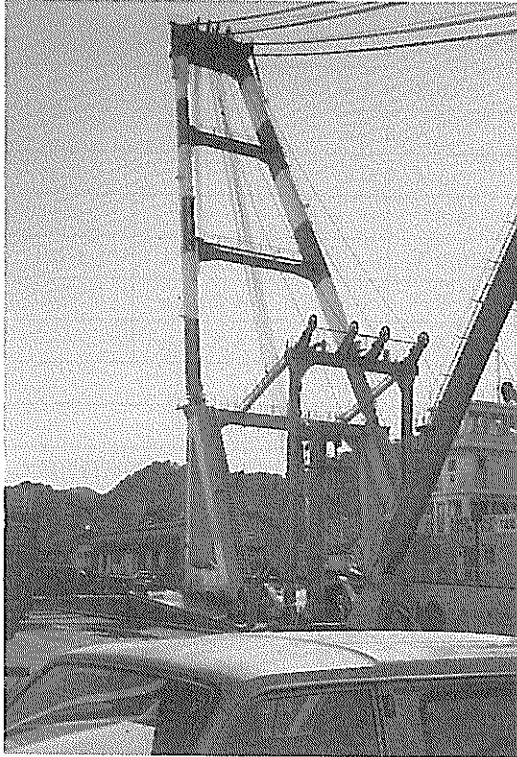


写真-1 伊豆



写真-2 伊豆

写真-2.3 起重機船の全景 (700トン吊り)

航速度、風向・風速、波高および周期などを測定・調査した。

起重機船の動揺測定に用いたセンサー類は、大型起重機船の動揺実態観測に用いたものとはほぼ同じで、傾斜計 (2個)、サーボ型加速度計 (3個)、角速度計 (1個) である。大型起重機船の動揺実態観測においては、振動ジャイロを用いてローリングおよびヨウイングを測定したが、振動ジャイロに起因するとみられるノイズが頻繁

に混入し解析に支障をきたしたこと、また、解析の結果、ローリングおよびピッチングは傾斜計で精度よく計測されることが確認されたので、中型起重機船の動揺実態観測においては振動ジャイロは使用しないことにした。

写真-2.4は動揺測定用のセンサーである

吊上げ荷重、シヤースの角度、風向・風速は、それぞれ、起重機船に装備された荷重計、角度指示計、風向・

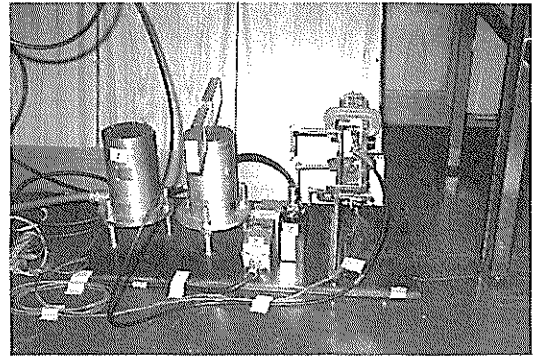


写真-3 センター

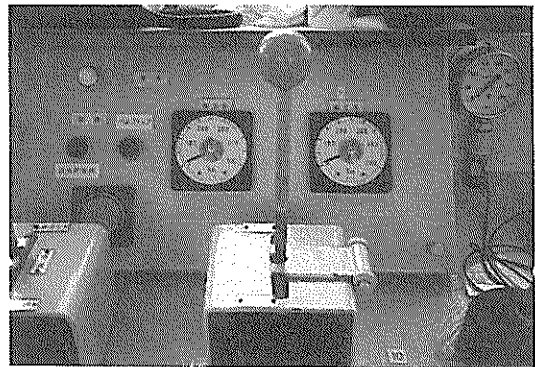


写真-4 荷重計

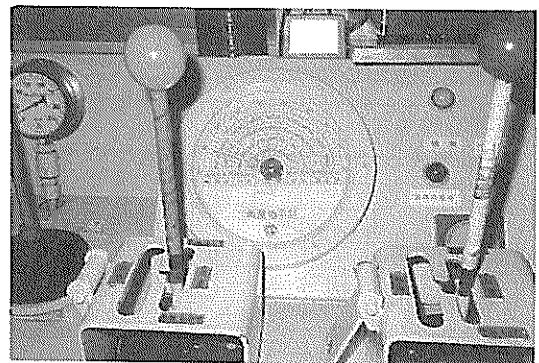


写真-5 角度指示計

写真-2.4 動揺測定用のセンサー

風速計にて測定した。ただし、風速計には記録部がないので、風速計の指示値を讀取って記録した。この場合の風速は瞬間風速、また、風向は相対風向である。したがって、風速はとりあえず指示値を記録し、のちに曳航速度を考慮して修正した。その他、つぎに述べる波浪観測拠点の観測記録も参考にした。すなわち、波高は運輸省第四港湾建設局の波浪観測拠点のうち、起重機船の曳航路にあたる、藍の島、玄界沖、伊王島、熊本の各拠点での波高観測記録を参考にして推定するが、曳航時およびケーソン据付時において調査員各自が、波向、波周期および波高を目視した。さらに、動揺観測の概況およびケーソンの動揺をビデオカメラによって撮影した。このほか、喫水、本船のバラスト状態、慣性モーメント、速力、進路などを記録した。

3) 動揺実態観測結果

a. 計測回数

現地における計測は、回航中、ケーソン吊り上げ時および据付時ならびに曳航時に行った。計測は昼間は連続して行い、解析はそのうち有意なもののみについて行うこととした。観測中は1時間ごとに、風速、波高の目視、起重機船の位置の確認などを行った。しかし、1月7日深夜から風速が強まり、また、波浪も増大して起重機船の動揺が大きくなったので急遽計測を行った。1月7日は結局、長崎県西彼杵郡大瀬戸町松島沖に避泊したが、このため、熊本港到着は予定よりまる一日遅れた。

熊本港においては軟着底ケーソンの吊り上げ時、曳航時、据付時に計測を行った。当初は3面のケーソン据付時の動揺を観測する予定であったが、回航の遅れなどもあったので2面とした。

b. 回航中の動揺実態観測

回航中の観測は、門司港から熊本港までの回航中に行った。熊本港においては、昭和63年度には10面のケーソンを据え付ける予定であったが、第1面目は昭和64年1月9日に予定されていた。したがって、ケーソン据付のための準備等を考慮して、起重機船は1月6日に熊本港に向けて回航されることとなった。関門海峡の潮流の関係から流れが西流になる1月6日早朝6:15に門司港を出港した。

図-2.5は実績航路図である。また、図-2.6は観測区間および解析区間とを対比して示したものである。図中の太線は観測区間、二重線は解析区間である。図-2.6にはケーソン据付時の観測区間および解析区間も示している。

表-2.5は各観測区間中における各動揺成分の最大値を示したものである。これによると、第1日目の門司港

から姫島沖までは高気圧に覆われ穏やかな日和であり、風速4~5m/s、有義波高 $H_{1/3}=0.30\sim 0.50\text{m}$ 、有義波周期 $T_{1/3}=3.0\sim 4.0\text{s}$ であった。したがって、起重機船の動揺は小さかった。

夜間は原則として観測しない予定であったが、1月7日深夜から風浪が強まり起重機船の動揺が大きくなったので、0:50に急遽計測を行った。同2時過ぎには海上はさらにしげ模様となり、白波が砕けしぶきがフックにまで達するようになり、起重機船はピッチングおよびローリングを伴う大きな動揺を始めた。起重機船の動揺の、ローリング、ピッチングおよびヒービングの動揺量の有義値は、それぞれ最大 5.03° 、 1.80° 、 75.7cm であった。同2:40起重機船は長崎県西彼杵郡大瀬戸町松島付近に投錨し避泊した。風速は10m/s以上であった。同日早朝6:15~8:15までの2時間動揺観測を行った。ローリング、ピッチングおよびヒービングの動揺量の有義値は、それぞれ最大 4.07° 、 0.767° 、 47.7cm であった。しかし、同日は風速が12m/s~15m/sの強風が一日中連吹し、曳航は困難であると判断されたのでそのまま避泊を継続した。

写真-2.5は松島付近に避泊中の海上の状況である。

翌日は平成元年1月8日と年号が改まった。風がやや治まったので回航を再開した。海上にはまだうねりが残っており、松島を離れて沖に出るにしがって、起重機船の動揺が大きくなった。写真-2.6は回航再開時の状況である。しかし天候は次第に回復し、午後には陽光も差すようになり回航は順調に進み、10:40長崎港口沖、11:00伊王島沖、12:00端島、12:30野母崎を通過した。この間波高は目視で1.5m程度であった。起重機船の動揺のローリングおよびピッチングの両振幅の有義値の最大は、それぞれ 6.47° および 2.37° であった。13:00樺島大橋沖を通過すると海上は穏やかにならず、また、起重機船の動揺も小さくなったので14:00に計測を終了した。起重機船は16:30に早崎の瀬戸を通過し、17:40に長崎県南高来郡有家町沖に停泊した。

翌1月9日6:20熊本港に向けて曳航を開始した。北東の風4m/s~7m/s、くもりときどき小雨のあいにくの天候であった。

d. ケーソン据付時の動揺実態観測

熊本港の港湾施設のうち南側に設置される軟着底ケーソン型防波堤の設置工事における起重機船の動態を観測した。設置位置の水深は-0.3mである。軟着底ケーソンの重量はおよそ470tであって、これを起重機船が吊り上げた場合の喫水は船首で3.2m~3.3mになって、干潮時には起重機船の喫水が確保できない。したがって、満

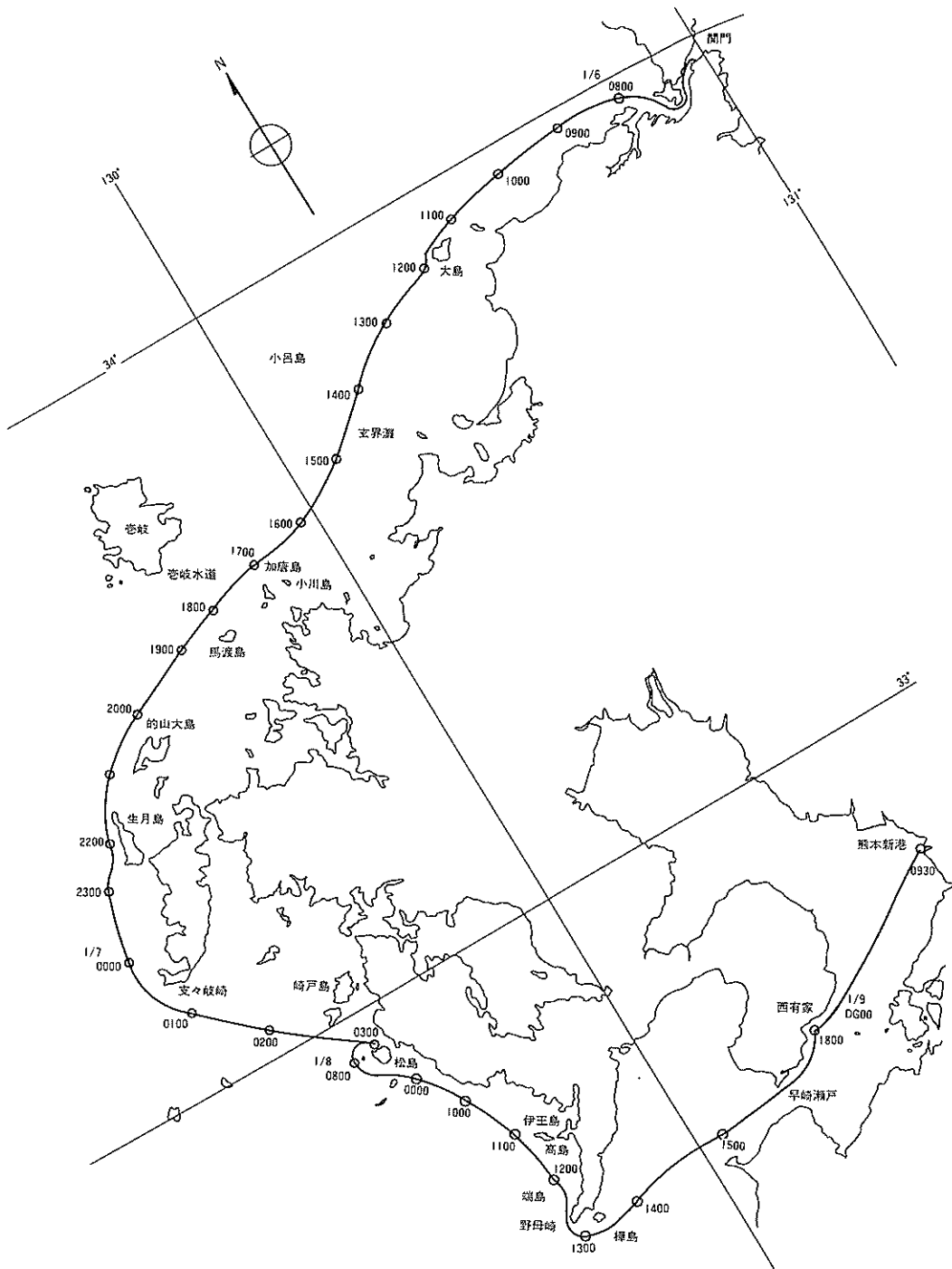
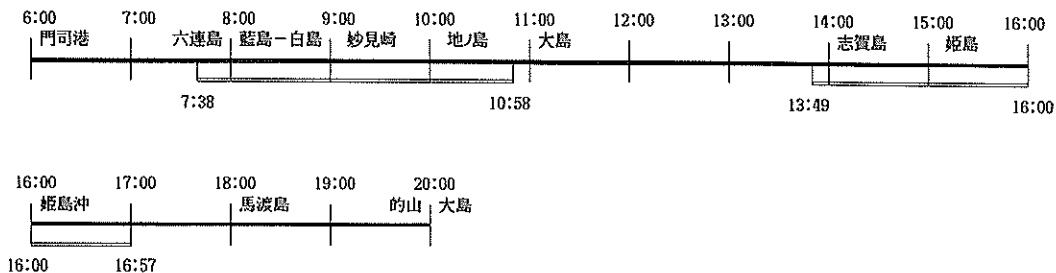
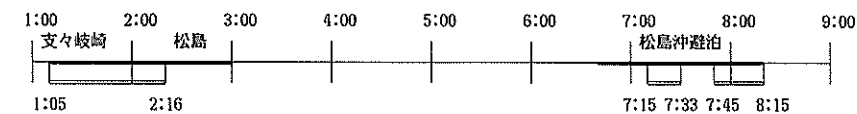


圖-2.5 實績航路圖

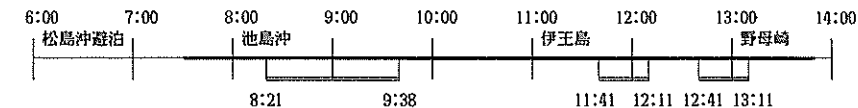
1月 6日 起重機船回航



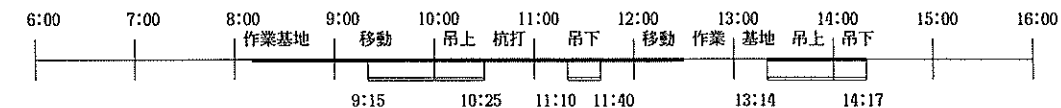
1月 7日 起重機船回航



1月 8日 起重機船回航



1月10日 ケーソン据え付け (熊本新港)



1月11日 ケーソン据え付け

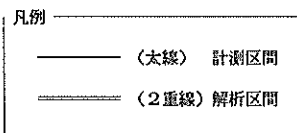
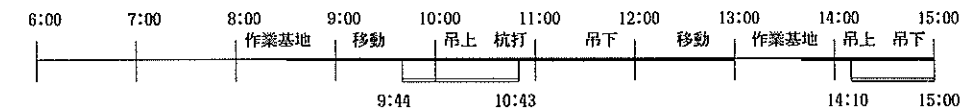


図-2.6 観測区間および解析区間

表-2.5 各観測区間における動揺量の最大値（曳航時）

起重機船回航	HEAVE(cm)		ROLL(deg)		PITCH(deg)		YAW(deg)	
	Z _{1/3}	T _{Z1/3}	θ _{1/3}	T _{1/3}	ϕ _{1/3}	T _{1/3}	ϕ _{1/3}	T _{1/3}
六連島～大島	32.0	8.70	2.53	7.55	0.294	6.24	0.846	7.83
志賀島～姫島	25.9	10.3	1.31	7.50	0.447	8.94	0.606	8.01
志々岐島～松島沖	75.7	7.07	5.03	7.35	1.80	6.37	1.60	7.58
松島沖避泊中	47.7	7.55	4.07	7.16	0.762	6.90	1.25	7.55
池島～三重島	100.	7.40	4.89	6.99	2.30	6.82	1.92	7.66
伊王島～野母崎	79.3	7.17	6.47	7.08	1.73	5.98	1.85	7.35



写真-2.5 松島付近に避泊中の海上

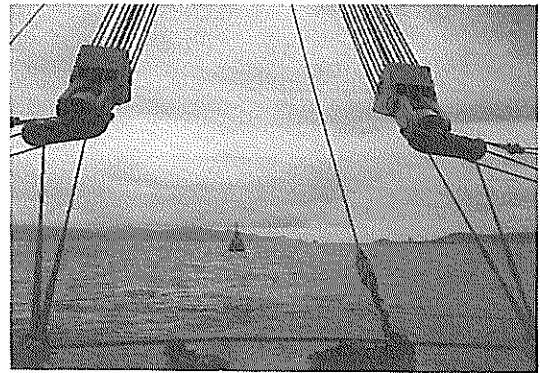


写真-2.6 回航再開時の海上

潮時で、潮位+3.0m以上でかつ3時間30分以上の作業時間が確保できるときに施工する。ただし、官公庁船だまりは十分に浚渫されているので作業工程が潮位に影響されないので、準備作業等はこれ以外の時間に行う。据付は1日1函である。写真-2.7は軟着底ケーソン据付の状況である。表-2.6は軟着底ケーソン据付時の各動揺成分の最大値である。据付時の熊本港内における起重機船の動揺は、第1函目および第2函目ともに極めて小さい。ヒービングから判断すると港内においては、起重機船の動揺に影響を及ぼすほどの波浪がなかったということになる。

2. 3 小型起重機船の現地動揺実態観測

1) 概要

125トン吊りの小型起重機船のブロック据付時の起重機船の動揺を測定し、小型起重機船の作業時の動揺特性、波および風の作用による動揺特性を解析した。表-2.7および図-2.7は起重機船の規格等を示したものである。

写真-2.8は起重機船の全景である。測定は平成2年10月22日および23日の両日行った。両日も台風26号の影響で海上が大しけであったため、港外における計測が不可能であったので、港内の比較的静穏な海域に起重機船を係留し動揺実態観測を行った。

2) 測定システム

小型起重機船の動揺は動揺測定装置（TOMS-1000：トキメック製）で計測した。動揺測定装置は角速度計（振動ジャイロ）およびサーボ加速度計からなるもので、出力はX、Y、Z方向の加速度、X、Y、Z軸回りの角速度、ローリング、ピッチング、ヨーイングである。動揺測定装置では、振動ジャイロで計測した角速度を1回転分してローリング、ピッチング、ヨーイングを求める。一方、サーボ加速度計で計測されるX方向およびY方向の加速度には、それぞれ、ピッチングによるX方向およびローリングによるY方向加速度成分が含まれる。そのため、この動揺測定装置では、サーボ加速度計で計測されるX方向およびY方向の加速度から、ピッチングによ

表-2.6 軟着底ケーソン据付時の動揺量の最大値

作業状況	HEAVE(cm)		ROLL(deg)		PITCH(deg)		YAW(deg)	
	Z _{1/3}	T _{Z1/3}	θ _{1/3}	T _{1/3}	φ _{1/3}	T _{1/3}	φ _{1/3}	T _{1/3}
吊り下ろし(1日)	1.76	16.5	0.467	15.3	0.092	1.97	0.495	10.8
吊り下ろし(2日)	2.17	16.0	0.182	18.4	0.044	1.84	0.5555	15.2

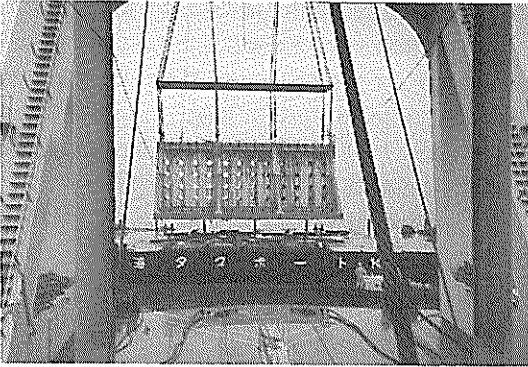


写真-32 台船上のケーソンを吊上げる(2函め)

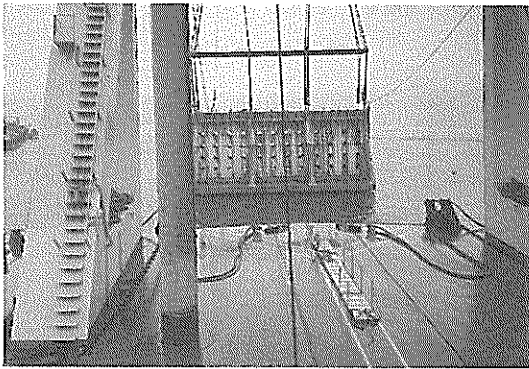


写真-33 設置位置の真上に移動(2函め)

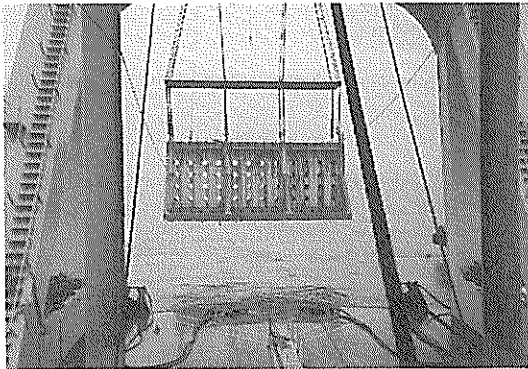


写真-32 ケーソン降下着水(2函め)

写真-2.7 軟着底ケーソン据え付け時の状況

表-2.7 起重機船の規格等(125トン吊り)

125トン吊り非航旋回	
L	40.0 m
B	17.4 m
D	3.2 m
d	1.68 m
GM	4.18 m
I _{xx}	2.517 × 10 ³ tfms ²
I _{yy}	1.192 × 10 ⁴ tfms ²
I _{zz}	1.408 × 10 ⁴ tfms ²

るX方向およびローリングによるY方向加速度成分を差し引いている。これらの測定値はデータレコーダに集録し、港湾技術研究所において解析した。写真-2.9は、動揺測定装置のセンサーおよび演算部である。

3) 動揺実態観測結果

表-2.8~表-2.10は小型起重機船の動揺実態観測結果である。計測はブロック積込時、係留時および曳航時、作業時におこなった。観測回数、それぞれ、4回、2回および1回、3回である。ただし、作業時にはジブ角度を0°、45°、90°とした3ケースおよび旋回中1ケースに測定を行った。

表-2.8~表-2.10, また、後出の表-2.11~表-2.12, ならびに表-4.1~表-4.2における項目の略号は以下のとおりである。

- ☆SURGE : サージング
- ☆SWAY : スウェイング
- ☆HEAVE : ヒープ
- ☆ROLL : ローリング
- ☆PITCH : ピッチング
- ☆YAW : ヨウイング
- ☆ANG X : 吊荷の振れ角 (X軸に対するもの)
- ☆ANG Y : 吊荷の振れ角 (Y軸に対するもの)
- ☆ANG Z : 吊荷の振れ角 (Z軸に対するもの)

- ☆TURIX：シーブブロック点の前後方向動揺量
(シーブブロック点座標に対するもの)
- ☆TURIY：シーブブロック点の左右方向動揺量
(シーブブロック点座標に対するもの)
- ☆TURIZ：シーブブロック点の上下方向動揺量
(シーブブロック点座標に対するもの)
- ☆TRX：吊荷の前後方向の動揺量
(吊荷座標に対するもの)
- ☆TRY：吊荷の左右方向の動揺量
(吊荷座標に対するもの)
- ☆TRZ：吊荷の上下方向の動揺量
(吊荷座標に対するもの)
- ☆TT：吊荷張力

ただし、前後方向はX方向、左右方向はY方向、上下方向はZ方向である。

なお、シーブブロック点の前後方向動揺量のように動揺量と記述しているものはシーブブロック点座標に対する変位を示している。表中でX_{1/3}などのように添字をつけたものは変位または動揺量の動揺両振幅などの有義値

である。T_{1/3}は動揺の有義周期、MAXまたはMINは変位または動揺量の最大値または最小値である。

ブロック積込時にはサージング約35cm、スウェイング60cm～75cm程度、ヒービング約15cm、ローリング約1°、ピッチング約0.2°、ヨウイング約3°であった。係留時および曳航時にもほぼ同様の動揺が観測された。作業時においては、ジブ角度を変えても動揺量に及ぼす影響は少なかったが、旋回中にはこれより動揺が大きい。ジブ角度を固定したときの動揺量はサージング60cm～80cm、スウェイング45cm～60cm程度、ヒービング約40cm、ローリング0.5°～0.85°程度、ピッチング約0.4°～0.5°程度、ヨウイング約3°であったが、旋回中にはいずれの動揺成分もこれより大きく、とくにローリングはジブ角度を固定したときの約3倍にもなる。ジブ角度の影響はローリングにやや見られる程度であって、あまり影響はないと考えられる。

4) 小型起重機船の動揺の数値シミュレーション

小型起重機船の動揺の数値シミュレーションは以下の条件で行った。計算においては、ブロックの有りおよび無し、ジブ角度0°、45°および90°、波向0°および30°、

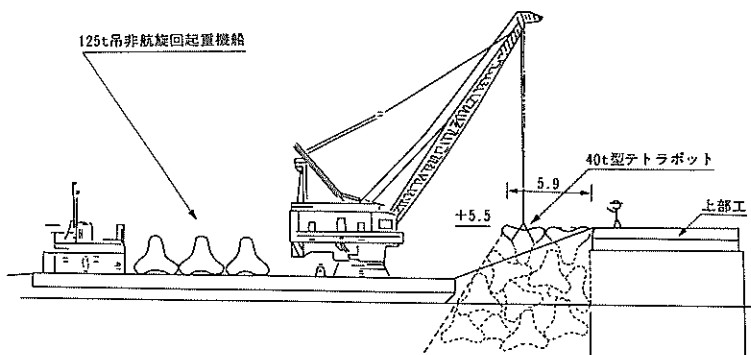


図-2.7 起重機船の規格等 (125トン吊り)



写真-2.8 起重機船の全景 (300トン吊り)

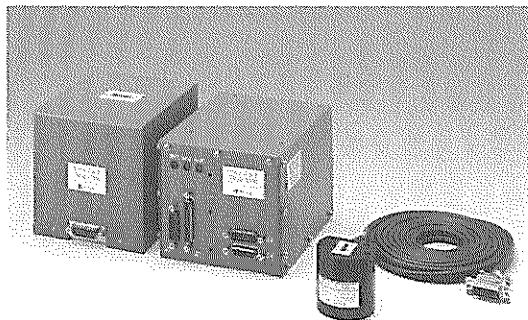


写真-2.9 動揺測定装置のセンサーおよび演算部

表一2.8 小型起重機船のプロック積込時の動揺の観測値

No.	SURGE(m)			SWAY(m)			HEAVE(m)			ROLL(deg)			PITCH(deg)			YAW(deg)								
	$\bar{X}_{1/3}$	$\bar{T}_{1/3}$	MIN	MAX	MIN	$\bar{Z}_{1/3}$	$\bar{T}_{1/3}$	MAX	MIN	$\bar{\phi}_{1/3}$	$\bar{T}_{1/3}$	MAX	MIN	$\bar{\theta}_{1/3}$	$\bar{T}_{1/3}$	MAX	MIN	$\bar{\psi}_{1/3}$	$\bar{T}_{1/3}$	MAX	MIN			
1	積込み時1	0.329	15.6	0.381	-0.354	0.622	15.4	0.495	-0.499	0.144	8.68	0.117	-0.120	0.826	14.2	2.107	-2.200	0.208	3.66	0.888	-0.569	2.84	9.511	-6.466
2	積込み時2	0.321	15.7	0.265	-0.269	0.766	15.5	0.618	-0.618	0.150	9.25	0.129	-0.102	0.906	6.89	1.251	-2.195	0.206	2.34	0.993	-0.359	3.01	8.967	-8.066
3	積込み時3	0.365	15.9	0.285	-0.299	0.656	15.5	0.405	-0.415	0.163	9.43	0.128	-0.110	0.875	7.68	1.787	-1.889	0.219	2.82	1.404	-0.159	3.26	12.337	-9.047
4	積込み時4	0.358	15.9	0.304	-0.282	0.598	14.2	0.397	-0.410	0.170	9.52	0.141	-0.139	1.02	7.14	1.566	-2.084	0.258	4.21	1.594	-0.027	3.37	10.380	-7.552

ROLL,PITCH,YAWはTMOS-1000の変換値

表一2.9 小型起重機船の係留時および曳航時の動揺の観測値

No.	SURGE(m)			SWAY(m)			HEAVE(m)			ROLL(deg)			PITCH(deg)			YAW(deg)									
	$\bar{X}_{1/3}$	$\bar{T}_{1/3}$	MIN	MAX	MIN	$\bar{Z}_{1/3}$	$\bar{T}_{1/3}$	MAX	MIN	$\bar{\phi}_{1/3}$	$\bar{T}_{1/3}$	MAX	MIN	$\bar{\theta}_{1/3}$	$\bar{T}_{1/3}$	MAX	MIN	$\bar{\psi}_{1/3}$	$\bar{T}_{1/3}$	MAX	MIN				
1	係留時1	0.690	14.7	0.458	-0.469	0.192	13.3	0.151	-0.166	0.295	13.5	0.224	-0.253	0.189	1.39	0.454	-0.257	0.289	2.73	1.619	0.192	2.63	0.577	-31.02	-38.96
2	係留時2	0.701	14.5	0.586	-0.470	0.576	14.7	0.374	-0.328	0.527	12.7	0.434	-0.396	1.15	5.53	1.129	-1.268	0.721	5.31	1.643	-0.925	2.79	1.63	14.884	-3.709
1	曳航時1	0.637	15.6	0.382	-0.381	0.794	15.8	0.423	-0.563	0.437	14.0	0.268	-0.301	1.10	6.18	1.930	-1.087	0.670	6.31	2.069	-0.090	46.6	23.8	11.312	-41.07

ROLL,PITCH,YAWはTMOS-1000の変換値

表-2.10 小型起重機船の作業時の動揺の観測値

吊荷	波向	FILE No.	計測状態	SURGE(m)			SWAY(m)			HEAVE(m)			ROLL(deg)			PITCH(deg)			YAW(deg)								
				X1/3	T1/3	MAX	MIN	Y1/3	T1/3	MAX	MIN	Z1/3	T1/3	MAX	MIN	φ1/3	T1/3	MAX	MIN	θ1/3	T1/3	MAX	MIN	φ1/3	T1/3	MAX	MIN
無し	180°	1	ジブ角度0°	0.585	14.7	0.501	-0.539	0.596	14.4	0.506	-0.514	0.429	11.5	0.333	0.347	0.536	3.91	0.759	-1.263	0.494	3.90	2.139	0.296	3.08	2.51	3.025	-11.20
		2	ジブ角度45°	0.629	14.3	0.416	-0.419	0.531	15.0	0.415	-0.438	0.381	12.3	0.255	-0.254	0.666	4.30	-0.122	-2.058	0.529	3.94	2.054	0.185	3.42	2.39	3.351	-12.72
		3	ジブ角度90°	0.608	14.7	0.435	-0.544	0.463	15.1	0.360	-0.307	0.414	12.4	0.312	-0.304	0.638	4.31	-0.662	-2.498	0.416	3.12	1.763	0.065	2.99	1.68	2.916	-9.90
		4	ジブ旋回中	0.767	16.3	0.487	-0.409	0.819	15.7	0.387	-0.529	0.559	14.3	0.447	-0.268	1.55	18.0	1.479	-2.078	0.854	6.37	1.833	0.120	3.53	4.37	3.242	-9.79
無し	150°	5	ジブ角度0°	0.699	15.1	0.589	-0.578	0.458	14.1	0.383	-0.338	0.468	12.2	0.341	-0.317	0.601	4.21	1.349	-0.682	0.478	3.82	1.297	-0.591	3.19	1.23	14.647	-1.537
		6	ジブ角度45°	0.673	15.3	0.454	-0.393	0.530	14.6	0.353	-0.354	0.389	13.3	0.351	-0.295	0.757	4.49	2.280	-0.007	0.507	3.90	1.387	-0.321	3.32	3.00	12.257	-5.664
		7	ジブ角度90°	0.768	16.3	0.570	-0.517	0.483	14.6	0.355	-0.380	0.415	12.7	0.287	-0.408	0.882	4.45	2.590	-0.258	0.450	3.30	1.628	-0.466	3.46	3.05	12.257	-5.882
		8	ジブ旋回中	0.922	16.5	0.514	-0.597	0.725	16.8	0.478	-0.439	0.561	13.4	0.359	-0.464	2.46	22.3	2.805	-2.163	0.799	5.82	1.633	-0.571	4.37	4.97	18.666	-5.556
有り	180°	9	ジブ角度0°	0.468	15.2	0.342	-0.362	0.401	14.5	0.291	-0.305	0.388	12.2	0.299	-0.327	0.524	3.57	1.029	-0.862	0.450	3.55	1.362	-0.706	3.07	1.37	1.722	-9.447
		10	ジブ角度45°	0.572	15.0	0.434	-0.432	0.455	14.2	0.327	-0.349	0.401	12.5	0.325	-0.384	0.717	4.22	2.140	0.243	0.388	2.80	1.377	-0.235	3.06	1.46	0.961	-12.29
		11	ジブ角度90°	0.694	14.9	0.476	-0.623	0.515	15.2	0.372	-0.426	0.414	12.5	0.312	-0.375	0.745	4.20	2.580	0.399	0.521	2.83	1.588	-0.356	3.08	1.84	0.201	-14.68
		12	ジブ旋回中	0.824	15.3	0.506	-0.511	0.891	18.7	0.614	-0.539	0.469	11.2	0.233	-0.336	1.35	16.9	2.395	-2.343	0.537	4.25	1.423	-0.641	3.78	3.59	4.990	-14.79

ROLL,PITCH,YAW は TMOCS-1000 の実測値

表-2.11-1 小型起重機船の作業時の動揺の計算値(吊荷有り)

波向	計算状態	周期 (s)	SURGE(m)			SWAY(m)			HEAVE(m)			ROLL(deg)			PITCH(deg)			YAW(deg)								
			X _{1/3}	T _{1/3}	MAX	MIN	Y _{1/3}	T _{1/3}	MAX	MIN	Z _{1/3}	T _{1/3}	MAX	MIN	φ _{1/3}	T _{1/3}	MAX	MIN	θ _{1/3}	T _{1/3}	MAX	MIN				
0°	吊荷有り	6	0.279	24.3	0.096	-0.457	0.000	8.43	0.000	0.000	0.169	7.38	0.135	-0.124	0.000	7.20	0.000	0.000	1.67	6.43	1.349	-1.362	7.70	0.000	0.000	
		8	0.485	14.5	0.274	-0.493	0.000	10.0	0.000	0.000	0.276	9.12	0.215	-0.194	0.000	10.0	0.000	0.000	1.99	7.31	1.482	-1.626	8.09	0.000	0.000	
	ジブ角度 0°	1.0	0.748	14.8	0.448	-0.627	0.000	12.7	0.000	0.000	0.381	10.4	0.331	-0.303	0.000	11.0	0.000	0.000	1.92	8.22	1.543	-1.386	9.41	0.000	0.000	
		1.2	1.03	20.4	0.631	-0.766	0.000	13.7	0.000	0.000	0.375	14.1	0.288	-0.299	0.000	12.0	0.000	0.000	1.70	9.26	1.441	-1.194	9.20	0.000	0.000	
	0°	吊荷有り	6	0.273	23.3	0.097	-0.456	0.008	7.62	0.012	-0.003	0.169	7.39	0.135	-0.124	0.459	5.31	0.349	-0.342	1.64	6.40	1.335	-1.340	7.58	0.074	-0.135
			8	0.483	14.5	0.275	-0.492	0.009	7.16	0.013	-0.005	0.276	9.12	0.215	-0.195	0.461	5.59	0.352	-0.378	1.96	7.31	1.481	-1.601	7.90	0.122	-0.159
		ジブ角度 45°	1.0	0.747	14.8	0.446	-0.623	0.012	10.3	0.017	-0.010	0.381	10.4	0.331	-0.303	0.426	5.65	0.336	-0.356	1.90	8.30	1.520	-1.372	8.49	0.226	-0.202
			1.2	1.03	20.5	0.627	-0.762	0.014	9.71	0.022	-0.008	0.375	14.1	0.288	-0.300	0.341	6.05	0.275	-0.276	1.68	9.28	1.421	-1.181	10.2	0.274	-0.283
	0°	吊荷有り	6	0.277	23.5	0.097	-0.455	0.007	7.70	0.012	-0.001	0.169	7.38	0.135	-0.124	0.453	5.30	0.322	-0.327	1.61	6.36	1.325	-1.323	7.45	0.127	-0.177
			8	0.480	14.5	0.272	-0.484	0.009	8.05	0.014	-0.005	0.276	9.11	0.214	-0.195	0.457	5.61	0.354	-0.345	1.92	7.31	1.476	-1.580	7.99	0.194	-0.251
		ジブ角度 90°	1.0	0.746	14.7	0.440	-0.623	0.013	13.2	0.020	-0.012	0.381	10.4	0.332	-0.305	0.440	5.72	0.334	-0.325	1.87	8.26	1.476	-1.368	8.99	0.312	-0.297
			1.2	1.03	20.8	0.627	-0.755	0.014	20.9	0.030	-0.019	0.375	14.1	0.288	-0.299	0.322	6.02	0.239	-0.248	1.63	9.01	1.395	-1.177	13.3	0.441	-0.393
30°	吊荷有り	6	0.233	13.1	0.060	-0.359	0.093	8.57	0.174	0.014	0.212	7.19	0.168	-0.145	0.678	7.14	0.493	-0.546	1.63	6.17	1.381	-1.367	7.53	0.786	-1.345	
		8	0.452	12.8	0.281	-0.421	0.171	10.7	0.157	-0.128	0.315	8.87	0.243	-0.226	0.881	8.11	0.624	-0.685	1.90	7.14	1.448	-1.577	7.61	1.159	-1.138	
	ジブ角度 0°	1.0	0.682	15.0	0.439	-0.562	0.262	13.5	0.176	-0.210	0.429	9.86	0.358	-0.358	0.879	8.84	0.612	-0.601	1.81	8.04	1.443	-1.336	8.55	1.278	-1.057	
		1.2	0.920	20.1	0.581	-0.675	0.362	19.2	0.259	-0.295	0.397	13.7	0.281	-0.321	0.898	9.17	0.746	-0.696	1.57	8.73	1.330	-1.092	12.3	1.600	-0.853	
30°	吊荷有り	6	0.229	14.4	0.055	-0.360	0.093	8.68	0.174	0.016	0.212	7.18	0.168	-0.145	0.883	6.60	0.730	-0.688	1.66	6.16	1.364	-1.350	7.66	0.771	-1.340	
		8	0.445	12.8	0.277	-0.421	0.173	10.5	0.160	-0.124	0.315	8.87	0.243	-0.226	1.05	7.89	0.812	-0.805	1.88	7.06	1.438	-1.557	7.57	1.236	-1.157	
	ジブ角度 45°	1.0	0.679	14.9	0.431	-0.549	0.264	13.5	0.181	-0.219	0.429	9.86	0.359	-0.358	1.03	8.62	0.831	-0.841	1.80	8.02	1.423	-1.325	9.03	1.233	-0.979	
		1.2	0.930	20.4	0.580	-0.681	0.366	19.1	0.253	-0.304	0.397	13.7	0.281	-0.321	1.01	8.90	0.857	-0.979	1.55	8.67	1.311	-1.044	9.91	1.651	-1.286	
30°	吊荷有り	6	0.229	14.4	0.055	-0.365	0.093	8.69	0.177	0.021	0.213	7.17	0.169	-0.146	0.813	6.41	0.669	-0.704	1.62	6.11	1.352	-1.325	7.50	0.657	-1.295	
		8	0.440	12.5	0.266	-0.414	0.175	10.6	0.160	-0.114	0.316	8.87	0.242	-0.227	0.959	7.92	0.758	-0.751	1.83	7.11	1.441	-1.547	8.31	1.134	-0.978	
	ジブ角度 90°	1.0	0.682	15.0	0.413	-0.544	0.264	13.4	0.185	-0.206	0.430	9.85	0.360	-0.360	0.981	8.93	0.730	-0.867	1.76	7.92	1.379	-1.327	10.1	1.290	-0.886	
		1.2	0.927	20.2	0.591	-0.663	0.359	18.7	0.252	-0.287	0.397	13.7	0.282	-0.320	0.844	9.81	0.635	-0.725	1.52	8.80	1.284	-1.040	13.8	1.844	-0.972	

表-2.11-3 小型起重機船の作業時の吊荷の動揺の計算値(吊荷有り)

波向	計算状態	周期 (s)	TRX(m)						TRY(m)						TRZ(m)						TT(tf)					
			X1/3		T1/3		MAX	MIN	Y1/3		T1/3		MAX	MIN	Z1/3		T1/3		MAX	MIN	TT1/3		T1/3		MAX	MIN
			X1/3	T1/3	MAX	MIN	Y1/3	T1/3	MAX	MIN	Z1/3	T1/3	MAX	MIN	TT1/3	T1/3	MAX	MIN	TT1/3	T1/3	MAX	MIN				
0°	吊荷有り ジブ角度 0°	6	0.817	7.34	0.465	-0.843	0.000	7.85	0.000	1.03	6.57	0.883	-0.784	4.14	5.98	41.714	35.106	4.14	5.98	41.714	35.106	4.14	5.98	41.714	35.106	
		8	1.10	7.69	0.691	-0.978	0.000	8.32	0.000	1.26	7.66	1.069	-0.912	4.08	6.46	41.515	34.979	4.08	6.46	41.515	34.979	4.08	6.46	41.515	34.979	
		10	1.11	9.29	0.774	-1.012	-0.000	8.41	0.000	1.25	8.61	0.913	-1.013	3.58	6.75	42.238	35.555	3.58	6.75	42.238	35.555	3.58	6.75	42.238	35.555	
		12	1.18	13.2	0.991	-1.185	0.000	8.35	0.000	1.17	9.86	0.901	-0.992	2.83	7.00	40.715	36.296	2.83	7.00	40.715	36.296	2.83	7.00	40.715	36.296	
	吊荷有り ジブ角度 45°	6	0.882	7.50	0.437	-0.831	0.146	7.11	0.121	0.947	6.50	0.818	-0.697	3.84	5.89	41.423	35.349	3.84	5.89	41.423	35.349	3.84	5.89	41.423	35.349	
		8	1.17	7.74	0.690	-0.941	0.218	7.94	0.172	1.16	7.70	0.991	-0.831	3.78	6.42	41.351	35.243	3.78	6.42	41.351	35.243	3.78	6.42	41.351	35.243	
		10	1.18	8.75	0.782	-1.024	0.317	8.39	0.270	1.13	8.46	0.843	-0.936	3.36	6.64	41.156	35.790	3.36	6.64	41.156	35.790	3.36	6.64	41.156	35.790	
		12	1.21	11.7	0.992	-1.236	0.448	8.43	0.359	1.06	9.97	0.815	-0.913	2.59	7.02	40.584	36.495	2.59	7.02	40.584	36.495	2.59	7.02	40.584	36.495	
	吊荷有り ジブ角度 90°	6	0.895	7.38	0.434	-0.828	0.122	6.63	0.097	0.652	6.52	0.570	-0.480	2.62	5.86	40.564	36.346	2.62	5.86	40.564	36.346	2.62	5.86	40.564	36.346	
		8	1.26	7.75	0.791	-1.085	0.214	8.42	0.194	0.812	7.90	0.694	-0.575	2.64	6.42	40.511	36.274	2.64	6.42	40.511	36.274	2.64	6.42	40.511	36.274	
		10	1.36	8.28	1.052	-1.198	0.344	8.52	0.284	0.822	8.49	0.600	-0.665	2.47	6.57	40.476	36.607	2.47	6.57	40.476	36.607	2.47	6.57	40.476	36.607	
		12	1.37	10.8	1.215	-1.307	0.375	8.60	0.329	0.766	10.5	0.578	-0.648	1.84	6.97	39.962	37.098	1.84	6.97	39.962	37.098	1.84	6.97	39.962	37.098	
吊荷有り ジブ角度 0°	6	0.718	7.26	0.368	-0.693	1.20	7.76	0.763	-0.900	1.07	6.47	0.909	-0.818	4.43	5.79	42.023	35.010	4.43	5.79	42.023	35.010	4.43	5.79	42.023	35.010	
	8	0.957	7.62	0.591	-0.828	1.84	8.17	1.289	-1.101	1.25	7.66	1.075	-0.888	4.15	6.38	41.738	350.24	4.15	6.38	41.738	350.24	4.15	6.38	41.738	350.24	
	10	0.966	8.92	0.667	-0.867	1.97	8.44	1.523	-1.301	1.22	8.44	0.920	-0.992	3.65	6.63	41.417	35.594	3.65	6.63	41.417	35.594	3.65	6.63	41.417	35.594	
	12	1.03	13.5	0.745	-0.998	2.32	8.56	2.168	-1.709	1.12	9.80	0.859	-0.947	2.79	6.95	40.716	36.345	2.79	6.95	40.716	36.345	2.79	6.95	40.716	36.345	
吊荷有り ジブ角度 45°	6	1.15	7.40	0.736	-0.891	0.922	7.80	0.590	-0.699	1.08	6.48	0.933	-0.809	4.44	5.84	41.962	34.874	4.44	5.84	41.962	34.874	4.44	5.84	41.962	34.874	
	8	1.53	7.82	1.127	-1.197	1.49	8.29	1.095	-0.940	1.28	7.64	1.096	-0.898	4.16	6.42	41.698	34.918	4.16	6.42	41.698	34.918	4.16	6.42	41.698	34.918	
	10	1.62	8.45	1.314	-1.244	1.82	8.54	1.503	-1.472	1.24	8.57	0.934	-1.013	3.67	6.62	41.499	35.514	3.67	6.62	41.499	35.514	3.67	6.62	41.499	35.514	
	12	2.03	8.69	1.597	-1.671	2.39	8.50	2.252	-1.856	1.15	10.1	0.893	-0.964	2.79	7.13	40.706	36.316	2.79	7.13	40.706	36.316	2.79	7.13	40.706	36.316	
吊荷有り ジブ角度 90°	6	1.25	7.42	0.808	-0.977	0.494	7.90	0.370	-0.370	0.822	6.50	0.717	-0.604	3.26	5.93	41.030	35.776	3.26	5.93	41.030	35.776	3.26	5.93	41.030	35.776	
	8	1.82	7.92	1.186	-1.469	0.921	8.59	0.698	-0.644	1.00	7.57	0.837	-0.702	3.12	6.63	40.888	35.811	3.12	6.63	40.888	35.811	3.12	6.63	40.888	35.811	
	10	2.11	8.44	1.602	-1.838	1.12	8.88	0.933	-0.969	1.01	8.10	0.736	-0.817	2.90	6.68	40.842	36.207	2.90	6.68	40.842	36.207	2.90	6.68	40.842	36.207	
	12	2.26	8.84	1.872	-1.920	1.13	9.45	1.002	-1.009	0.919	9.21	0.727	-0.759	2.09	7.19	40.204	36.690	2.09	7.19	40.204	36.690	2.09	7.19	40.204	36.690	

表-2.12 小型起重機船の係留時の動揺の計算値(吊荷無し)

波向	計算状態	周期 (s)	SURGE(m)				SWAY(m)				HEAVE(m)				ROLL(deg)				PITCH(deg)				YAW(deg)				
			$\lambda_{1/3}$	$T_{1/3}$	MAX	MIN	$\lambda_{1/3}$	$T_{1/3}$	MAX	MIN	$\lambda_{1/3}$	$T_{1/3}$	MAX	MIN	$\lambda_{1/3}$	$T_{1/3}$	MAX	MIN	$\lambda_{1/3}$	$T_{1/3}$	MAX	MIN	$\lambda_{1/3}$	$T_{1/3}$	MAX	MIN	
0°	吊荷なし ジブ角度 0°	6	0.282	17.3	0.110	-0.470	0.000	7.06	0.000	0.169	7.39	0.136	-0.123	0.000	6.86	0.000	0.000	0.000	1.65	6.34	1.355	-1.353	0.000	14.1	0.000	0.000	0.000
		8	0.510	14.2	0.300	-0.508	0.000	9.28	0.000	0.274	9.11	0.213	-0.196	0.000	8.19	0.000	0.000	0.000	1.96	7.27	1.510	-1.615	0.000	13.9	0.000	0.000	0.000
		10	0.773	14.7	0.465	-0.649	0.000	10.6	0.000	0.381	10.2	0.329	-0.308	0.000	8.50	0.000	0.000	0.000	1.90	8.27	1.502	-1.399	0.000	31.1	0.000	0.000	0.000
		12	1.06	20.5	0.656	-0.789	0.000	41.8	0.000	0.374	14.1	0.257	-0.299	0.000	12.8	0.000	0.000	0.000	1.67	8.99	1.425	-1.201	0.000	62.7	0.000	0.000	0.000
30°	吊荷なし ジブ角度 0°	6	0.251	11.0	0.065	-0.379	0.097	8.60	0.184	0.213	7.13	0.170	-0.146	0.616	7.01	0.428	-0.449	0.000	1.66	6.11	1.381	-1.344	0.800	8.30	0.459	-1.164	0.000
		8	0.463	11.3	0.285	-0.414	0.173	10.2	0.155	0.316	8.86	0.241	-0.228	0.743	7.89	0.545	-0.582	0.000	1.86	7.10	1.465	-1.565	1.00	10.7	1.018	-0.854	0.000
		10	0.701	14.5	0.450	-0.556	0.261	13.8	0.177	0.429	9.94	0.355	-0.363	0.721	9.44	0.547	-0.542	0.000	1.79	7.94	1.390	-1.343	1.16	13.6	1.176	-0.788	0.000
		12	0.954	20.5	0.608	-0.689	0.357	19.7	0.262	0.396	13.7	0.280	-0.320	0.655	10.8	0.485	-0.476	0.000	1.53	8.84	1.311	-1.099	1.48	25.6	1.447	-1.158	0.000

有義波周期 $T_{1/3} = 6, 8, 10, 12s$, 有義波高 $H_{1/3} = 50cm$ として計算した。ただし、この計算プログラムでは、ブロックがない場合は吊荷に関する入力をしないので、ジブ角度の如何にかかわらず数値シミュレーションにおいては同一結果を与える。

表-2.11および表-2.12は小型起重機船の作業時および係留時の動揺の計算値である。計算においては、ブロックの有りおよび無し、ジブ角度 $0^\circ, 45^\circ$ および 90° , 波向 0° および 30° , 有義波周期 $T_{1/3} = 6, 8, 10, 12s$, 有義波高 $H_{1/3} = 50cm$ として計算した。

計算結果をみると、サージング、ピッチングは波向 0° のときに大きい、その他の成分の動揺は波向 30° のときのほうが大きい。

吊荷があるときにはサージング $30cm \sim 100cm$ 程度、スウェイング $10cm \sim 35cm$ 程度、ヒービング $15cm \sim 40cm$ 程度、ローリング $0.4^\circ \sim 1^\circ$ 程度 (波向 30°)、ピッチング $1.5^\circ \sim 2^\circ$ 程度、ヨウイング約 1.5° (波向 30°)であった。係留時にもほぼ同様の動揺であって、吊荷の有無が起重機船の動揺に及ぼす影響は小さい。ジブ角度はスウェイング、ローリングおよびヨウイングに影響を与えるが、吊荷の動揺に及ぼす影響は小さい。

計算結果と観測結果とを比べると、ヒービングの計算値が観測値より大きいことから、計算において仮定した有義波高 $H_{1/3} = 50cm$ は実際より大きいものと考えられる。恐らく $15 \sim 20cm$ 程度であったものと推測される。このようにすると、計算値と観測値とはほぼ一致しているが、観測値のスウェイングおよびヨウイングは計算値より大きい。これは計算では波向を 0° または 30° としているが、現地の港内においては回折波および反射波の影響があり、波向は計算で仮定したように単純に 0° または 30° ではなく、数方向からの波の合成であると考えられる。

3. 起重機船の動揺の模型実験

3.1 実験概要

港湾技術研究所の平面水槽において起重機船の動揺に関する模型実験を行った。実験においては大型起重機船および中型起重機船を想定して波浪条件を変え、波浪条件と起重機船の動揺および係留力、ならびに吊荷の動揺との関係を求めた。

1) 実験水槽、模型起重機船の諸元および配置

実験においては、 $3,000$ トン吊りの起重機船の縮尺 $1/50$ の模型を用いた。ただし、起重機船の甲板上の建屋(ブリッジ等)は製作しないものとする。また、起重

機船の船長および船幅を実物に相似になるようにしたが、シャースの剛性を確保するために用いた真鍮の重量が大きくなって浮力が不足したので、船底に発泡スチロールを張り付け、乾舷を確保した。したがって、喫水、排水量、慣性モーメントなどは実機と相似ではない。表-3.1は起重機船の諸元である。図-3.1は模型起重機船の一般構造図、図-3.2はバラスト用の錘の配置、図-3.3は吊荷の一般図である。

実験を行った平面水槽は約 $19m \times 15m$ で、電動式の造波機が3台設置されている。ただし、本実験においてはその内2台を使用することとし、平面水槽を消波工で仕切って約 $19m \times 10m$ の範囲で使用した。図-3.4は平面水槽における模型起重機船、船体動揺測定機、消波工などの配置を示したものである。また、写真-3.1は水槽内に配置された模型起重機船および動揺測定機である。写真-3.2は模型起重機船に取り付けられた回転運動成分の検出機である。

2) 計測項目および計測システム

a. 計測項目およびセンサー

図-3.5は計測システムのブロックチャートである。個々の計測項目の計測方法は以下のとおりである。

イ) 起重機船の動揺

起重機船の6成分の動揺は船体動揺測定機を用いて測定する。動揺成分はサージング、スウェイング、ヒービング、ローリング、ピッチング、ヨウイングであるが、それらの定義は図-2.2に示したとおりである。船体動揺測定機の上には可動部があって、浮体等の動きに従って、前後、左右、上下に移動する。動揺量は統計処理し図-3.6に示すように動揺兩振幅の有義値 ($X_{1/3}$ などと表示)、最大および最小動揺量 (MAXまたはMINで表示)などを求めた。

ロ) 起重機船のシーブブロック点および吊荷の動揺

起重機船のシーブブロック点および吊荷の動揺はX-Yトラッカを用いて測定した。X-Yトラッカは物体の振動、ねじれなどの変位や物体の位置をテレビカメラで監視しながら計測する変位計測器である。計測においては、計測点を一度設定するとその後はトラッキング機能により自動追跡を行うことができる。また、ウィンドウ機能により画面内のいくつかの点のうち任意の計測点が選択できる。計測点には光源として豆ランプを用いた。サンプリングレートは毎秒60回とした。

ハ) 吊荷張力

起重機船の動揺による吊荷張力の変動は張力計を用いて測定した。写真-3.3は吊荷として用いたケーソンの模型である。写真-3.4は吊荷の張力計である。

表-3.1 模型船諸元

	実機	模 型
長 さ	95.40m	1.908m
幅	41.00m	0.820m
深 さ	7.50m	0.15m (フロート部0.05m)

	0 kgf	16kgf吊り	8 kgf吊り
吃水	0.100m	0.1525m	0.125m
重量	131.20kgf	193.35kgf	170.35kgf
KG	0.346m	0.293m	0.299m
Ixx	44.4kgf ^m	47.7kgf ^m	46.4kgf ^m
Iyy	115.7kgf ^m	147.8kgf ^m	135.0kgf ^m
Izz	90.0kgf ^m	122.1kgf ^m	108.8kgf ^m

二) 係留力

起重機船を係留する係留索の張力を張力計を用いて測定した。写真-3.5は起重機船の係留状況を示したものであるが、起重機船は4本の係留索で係留する。係留索の張力は架台を介して、写真-3.6の係留索の張力計で測定する。係留系は模型起重機船に取ったワイヤロープを架台に引き込み、その先端にコイルスプリングを配置したものである。図-3.7は係留架台一般図、図-3.8は係留系に用いたコイルスプリングの変位復元力特性である。コイルスプリングの変位復元力特性は個々に異なるが、図-3.9のように係留索を配置して船首側または船尾側の2本の係留索の特性がほぼ同一になるようにした。また、図から判るようにコイルスプリングの変位復元力特性は変位が小さい範囲では必ずしも線形とは言い難いので、模型実験においては各係留索に5gfの初期張力を掛けた。しかしながら、当初は実船の係留索の弾性係数と直径および長さから求めた変位復元力特性を、コイルスプリングの変位復元力特性で相似させようとしたものの、ワイヤロープの自重の影響があって模型

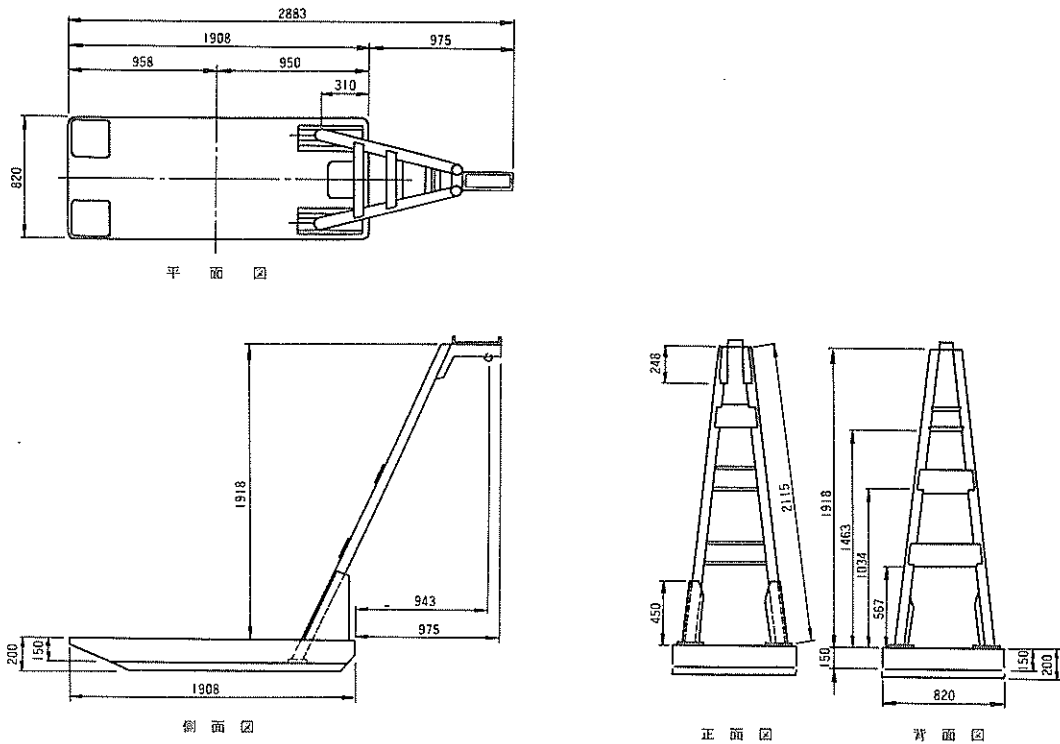


図-3.1 模型船一般構造図

バラスト形状

N o.	寸法 (mm)	重量 (kg)
①	100×100×60	7.5
②	100×100×28	4.0
③	100×40×38	1.6
④	100×100×45	5.0
⑤	100×100×60	7.0
⑥	100×100×70	7.5
⑦	100×100×75	7.7

吊荷ねじ		
8.0kg (1000t)	①+②+⑤	30.0kg
16.0kg (2000t)	①+②+③+④+⑤+⑦	44.6kg
	①+②+③+④+⑤+⑥+⑦	79.6kg

※左右対象

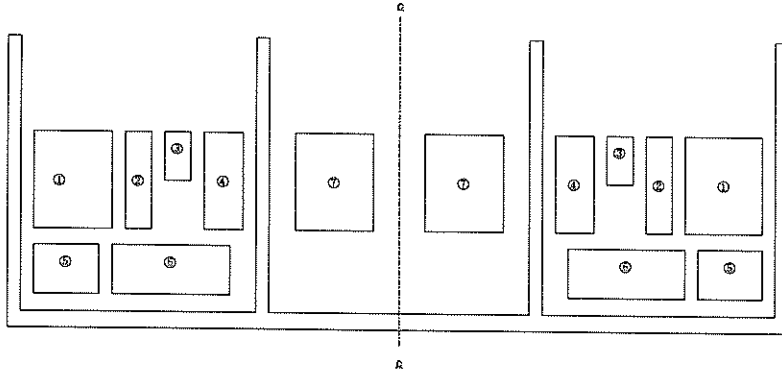


図-3.2 バラスト用おもりの配置

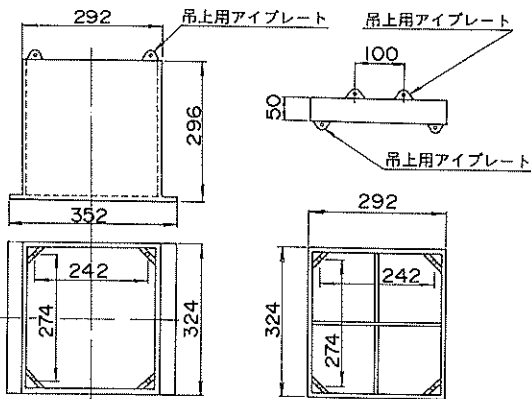


図-3.3 吊荷一般構造図

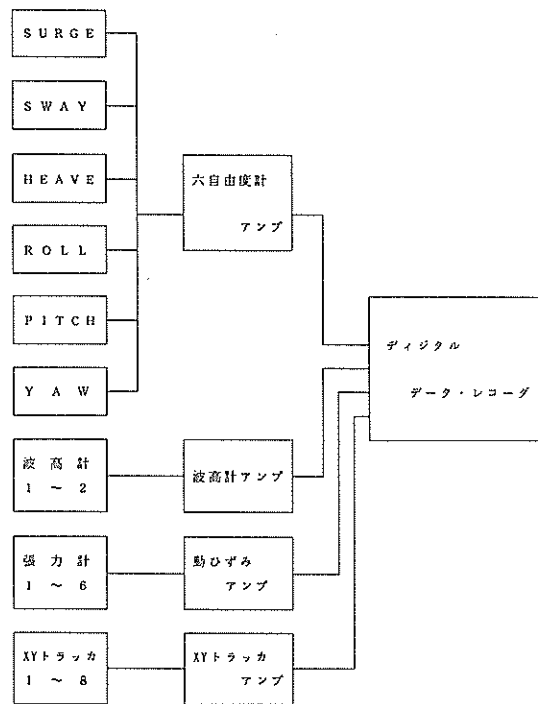


図-3.5 計測システムのブロックチャート

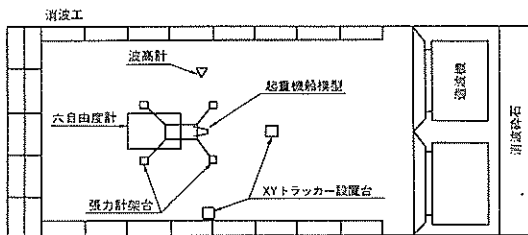


図-3.4 模型船および計測装置の配置

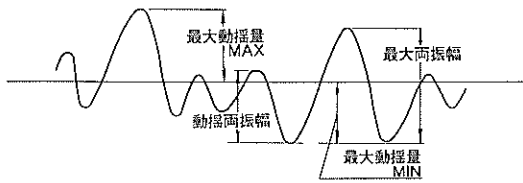


図-3.6 動揺量の統計処理

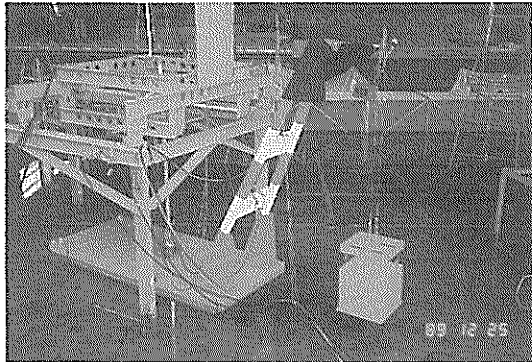


写真-3.1 模型起重機船および船体動揺測定機

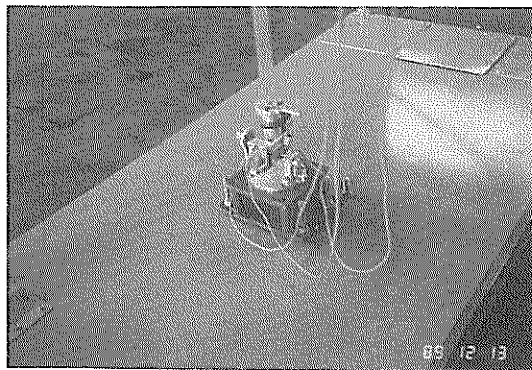


写真-3.2 回転成分検出機

実験に用いた係留系の特性は実機の係留索の弾性係数と直径および長さから求めたものと異なっている。そこで、水槽内で模型起重機船を水平に移動させ、そのときに各係留索に作用する張力を測定して、その結果から係留索の変位復元力特性を求めた。表-3.2は各係留索の線形化した変位復元力特性である。

ホ) 波高

波高は容量式波高計を用いて測定した。なお、不規則波はデータレコーダから発信し、アンプで増幅した信号を造波機に送って駆動し発生させた。

b. データの集録

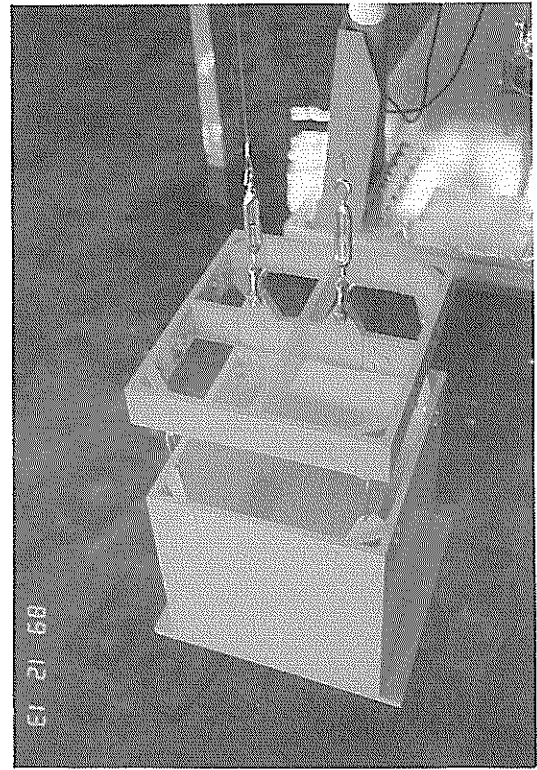


写真-3.3 吊荷模型

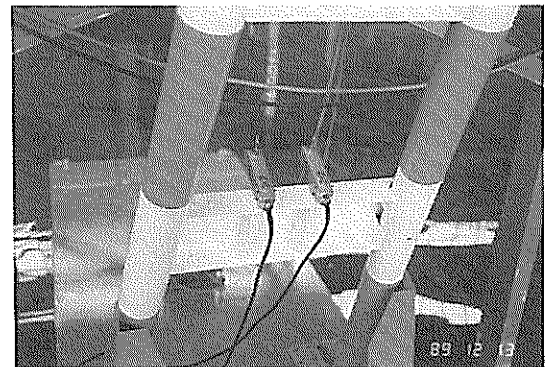


写真-3.4 吊荷の張力計

データは以下の集録装置で記録した。

イ) データレコーダに集録するもの

起重機船の動揺	6 ch
吊り上げ荷重	2 ch
係留力	4 ch
波高	2 ch
合計	14 ch

以上を動ひずみアンプを通してデータレコーダに集録

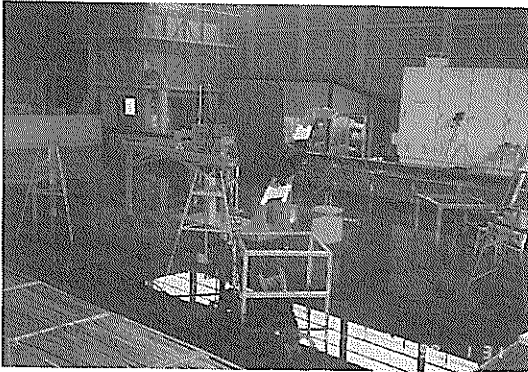


写真-3.5 起重機船の係留状況

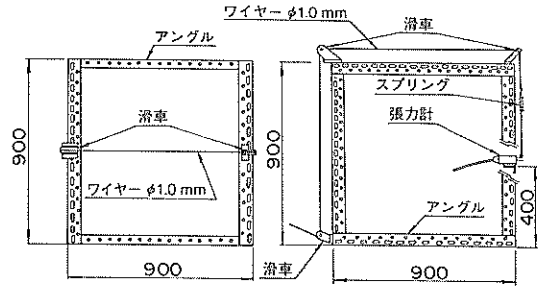


図-3.7 係留架台一般図

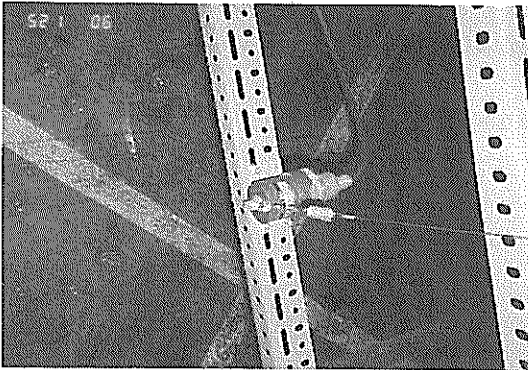


写真-3.6 係留索の張力計

した。また、ペンオシロスコープにてモニターした。

ロ) X-Yトラッカに集録するもの
吊荷の動揺X-YおよびX-Z 平面においてそれぞれ2ch, 合計4chとする。

c. データ解析

集録した記録をAD変換器でデジタル変換し解析した。記録の統計処理および図化に当たっては大型計算機を使用した。

3) 実験条件および実験ケース

実験条件は表-3.3に示すとおりである。表中のかっこ内の数値は実機の値である。吊荷は模型ケーソンの重量が8kgfおよび16kgfとしたが、吊金具等を含めると、それぞれ10.422kgf, 17.672kgfとなる。これに、吊荷

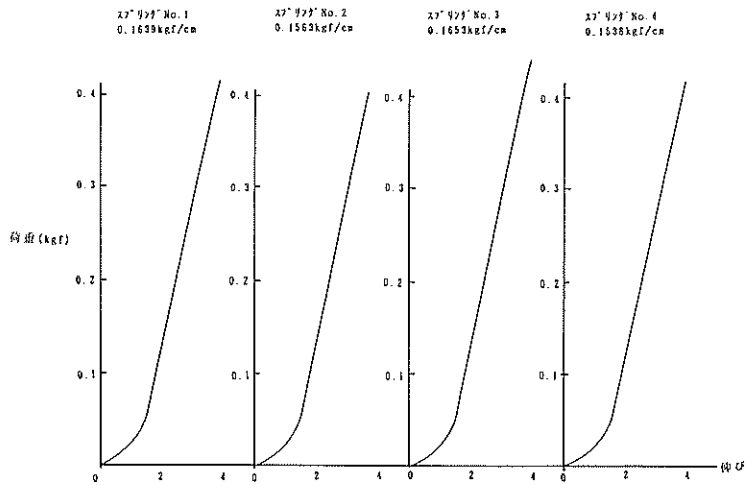


図-3.8 スプリングの変位復元力特性

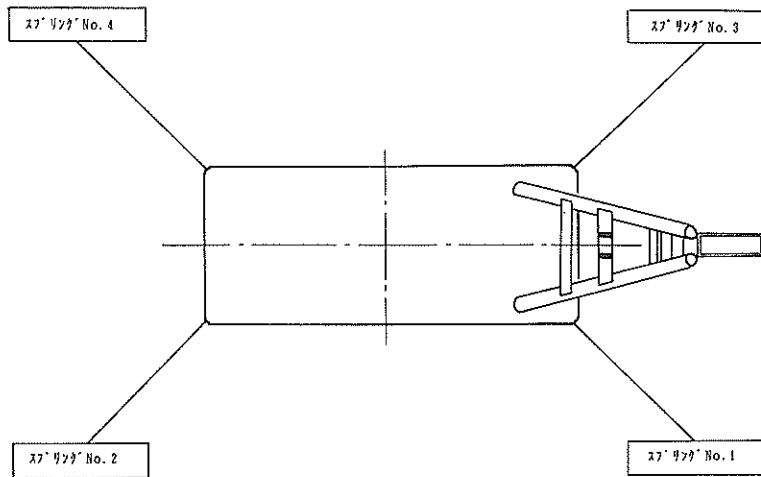


図-3.9 係留索配置図

表-3.2 係留索の変位度復元力特性

	スプリング No.1	スプリング No.2	スプリング No.3	スプリング No.4
バネ定数	0.1549kgf/cm	0.1252kgf/cm	0.1518kgf/cm	0.1246kgf/cm

表-3.3 実験条件一覧

吊荷	なし, 16kgf(2000tf), 8kgf(1000tf)	
波向	0°, 30°, 60°, 90°, 180°	
波周期	規則波	T = 0.707, 0.849, 0.990, 1.13, 1.27, 1.41, 1.56, 1.70, 1.84, 1.98 s (5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14)
	不規則波	T _{1/3} = 0.849, 1.13, 1.14, 1.70 s (6, 8, 10, 12)
波高	規則波	H = 1.0, 2.0, 3.0 cm (0.5, 1.0, 1.5 m)
	不規則波	H _{1/3} = 0.5, 1.0, 2.0 cm (0.25, 0.5, 1.0 m)

() 内は実機採算値

がないケースを含めて吊荷の条件は3種類としたが、これらの吊荷の条件を略称して、0 kgf, 8 kgf, 16kgfとする。波向は、0°, 30°, 60°, 90°, 180°の5種類とした。波周期は、規則波では、周期0.707sから1.98s(実機では5sから14s)までの間の10種類、また、不規則波では、有義波周期 $T_{1/3}$ =0.849sから1.70sまでの間の4種類(実機では6s, 8s, 10s, 12s)とした。波高は、規則波および不規則波ともに3種類とした。また、水深は30cm(実機では15m)である。実験ケースの合計は450である。

なお、この実験結果を中型起重機船等に適用する場合には、中型起重機船の諸元と模型起重機船の諸元とから決まる縮尺に応じて換算出来るよう、波周期および波高の実験条件の設定において留意した。

3.2 実験結果

1) 模型起重機船の動揺の固有周期および減衰定数

動揺実験に先立って模型起重機船の自由振動実験を行って、固有周期および減衰定数を求めた。全動揺成分

について実験を行ったが、ヒービングは減衰が大きく起重機船が振動しなかったため固有周期が得られていない。また、ヨウイングについても固有周期が長いために良好な結果が得られていない。その他の成分については表-3.4に示す結果が得られた。自由振動実験は吊荷が0 kgf、8 kgfおよび16kgfのそれぞれについて行ったが、吊荷を吊った状態の試験では吊荷の動揺が起重機船に影響を及ぼして、安定した動揺が得られなかった。したがって、ここではいずれも吊荷が0 kgfのときの自由振動実験結果を取りまとめている。

図-3.10に一例としてローリングの自由振動実験を行ったときの動揺波形を示す。

2) 起重機船の動揺の周期特性

実験結果をとりまとめ、図-2.2に定義した起重機船の各動揺成分について、規則波中および不規則波中の実験における波周期と動揺両振幅の有義値との関係を整理し図-3.11~3.70に図示した。以下とくに断らない限り動揺両振幅は動揺両振幅の有義値を意味する。これらは吊荷の動揺についても同様である。また、波周期と起重機船の動揺周期との関係を整理し図-3.71~3.82に図示した。ただし、規則波中の実験では作用する波の波高および周期が一定であるから、起重機船の動揺両振幅はほぼ一定ではあるはずであるが、多少の変動が見られるので不規則波中の実験と同様に動揺両振幅を整理して有義値を求めている。動揺量の単位はサージング、スウェイング、ヒービングについてはmm、ローリング、ピッチング、ヨウイングについては° (deg) である。

a. 起重機船の動揺の周期特性

イ) サージング

図-3.11~3.15は波高 $H=2.0\text{cm}$ の規則波中の、また図-3.16~3.20は有義波高 $H_{1/3}=2.0\text{cm}$ の不規則波中のサージングの動揺両振幅の有義値の波周期に対する関係を示したものである。それぞれ、波向 0° 、 30° 、 60° 、 90° 、 180° に対するものである。これらの図から以下のことが言える。

- ①規則波中および不規則波中において、波周期が長くなると動揺量が増加する。ただし、波向 90° の場合

を除いて、波周期が 1.70s より長くなると動揺量が急激に増加する。

- ②波向が 0° 、 30° 、 60° 、 180° のときに、波向 90° のときよりも動揺量が多い。
 ③吊荷の有無が動揺量に及ぼす影響は小さいが、吊荷が 0 kgf のときの動揺量が吊荷が有る場合の動揺量より大きい。
 ④不規則波中の動揺両振幅の有義値が最も大きいのは吊荷が 0 kgf 、波向 0° のときで、有義波周期 $T_{1/3}=0.849\text{s}$ 、 1.13s 、 1.41s 、 1.70s の有義波高 $H_{1/3}=2.0\text{cm}$ の波に対して、それぞれ、 2.97mm 、 4.59mm 、 12.9mm 、 22.3mm である。

ロ) スウェイング

図-3.21~3.25は波高 $H=2.0\text{cm}$ の規則波中の、また図-3.26~3.30は有義波高 $H_{1/3}=2.0\text{cm}$ の不規則波中のスウェイングの動揺両振幅の有義値の波周期に対する関係を示したものである。それぞれ、波向 0° 、 30° 、 60° 、 90° 、 180° に対するものである。これらの図から以下のことが言える。

- ①規則波中および不規則波中において、波周期が長くなると動揺量が増加する。ただし、波向 60° および 90° のときには、波周期が 1.13s より長くなると動揺量が急激に増加する。
 ②波向が 60° 、 90° のときに、波向 0° 、 30° 、 180° のときよりも動揺量が多い。
 ③吊荷の有無が動揺量に与える影響は波周期が 1.13s より長くなると顕著に表れてくるが、吊荷が 0 kgf のときがもっとも動揺が大きく、 8 kgf 、 16 kgf の順

表-3.4 固有周期および減衰定数

	固有周期	減衰定数
SURGE	6. 6 6	0. 1 3 4
SWAY	6. 4 2	0. 1 6 7
ROLL	2. 0 0	0. 1 5 7
PITCH	1. 7 5	0. 2 4 7

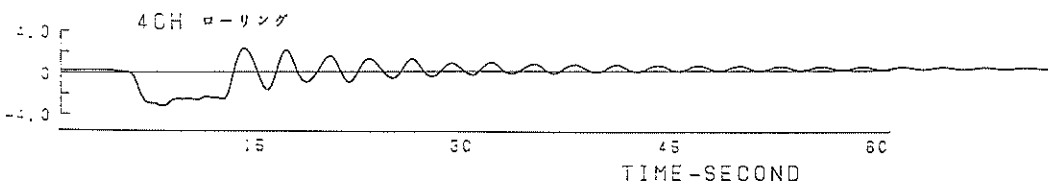


図-3.10 自由振動実験結果(ローリング)

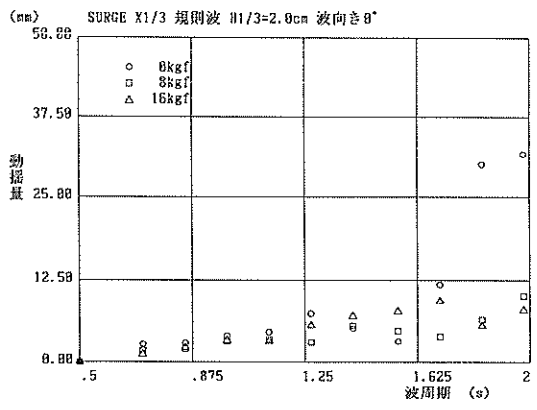


図-3.11 起重機船の動揺量
(サージング, 規則波H=2cm, 波向0°)

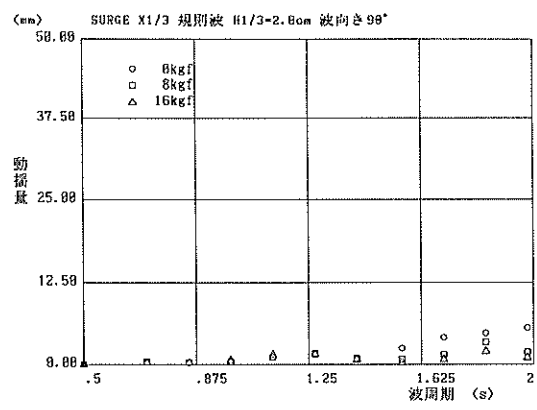


図-3.14 起重機船の動揺量
(サージング, 規則波H=2cm, 波向90°)

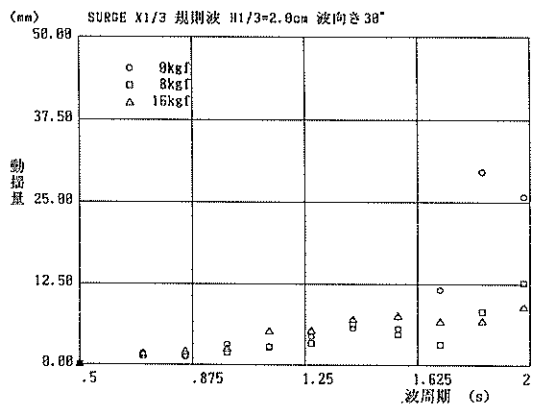


図-3.12 起重機船の動揺量
(サージング, 規則波H=2cm, 波向30°)

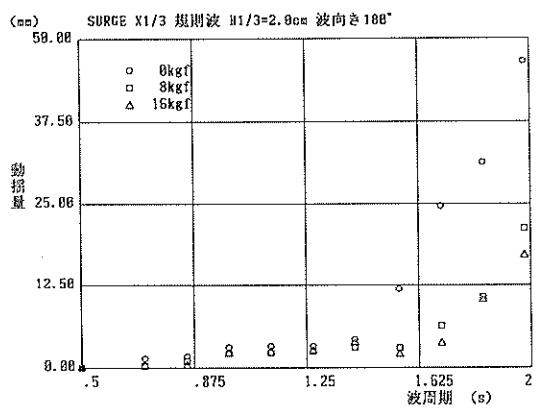


図-3.15 起重機船の動揺量
(サージング, 規則波H=2cm, 波向180°)

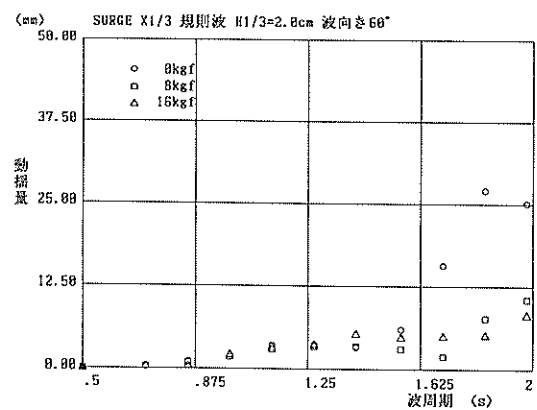


図-3.13 起重機船の動揺量
(サージング, 規則波H=2cm, 波向60°)

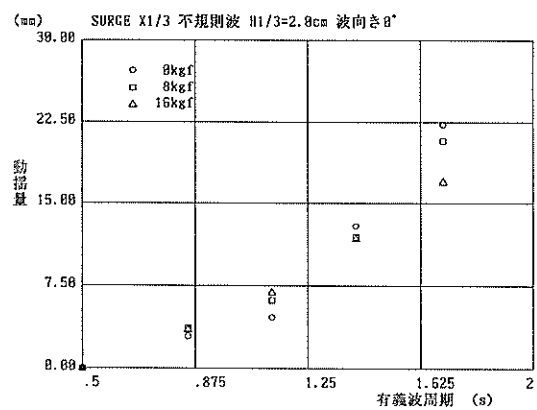


図-3.16 起重機船の動揺量
(サージング, 不規則波H1/3=2cm, 波向0°)

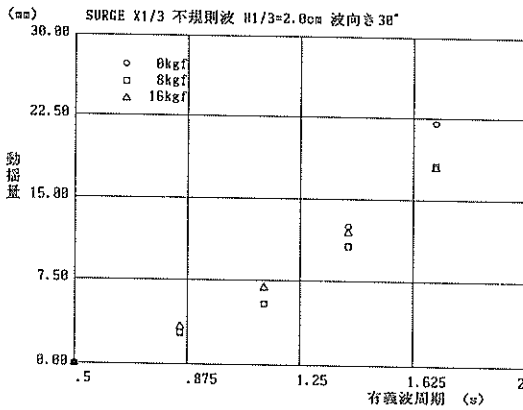


図-3.17 起重機船の動揺量
(サージング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 波向 30°)

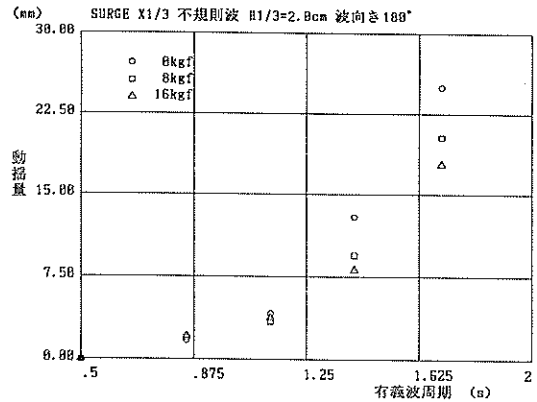


図-3.20 起重機船の動揺量
(サージング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 波向 180°)

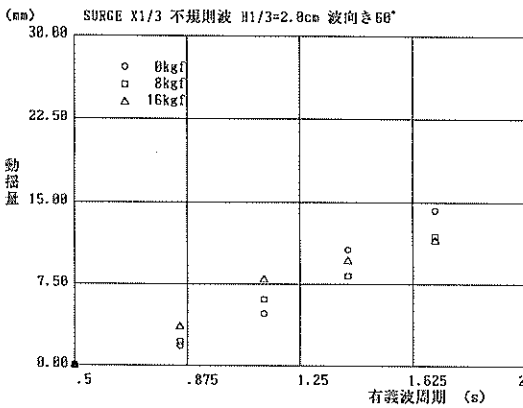


図-3.18 起重機船の動揺量
(サージング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 波向 60°)

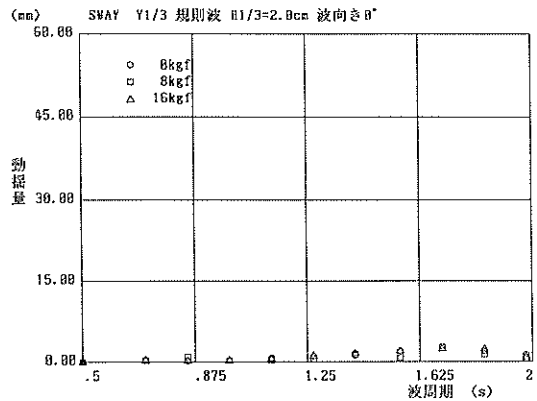


図-3.21 起重機船の動揺量
(スウェイング, 規則波 $H=2\text{cm}$, 波向 0°)

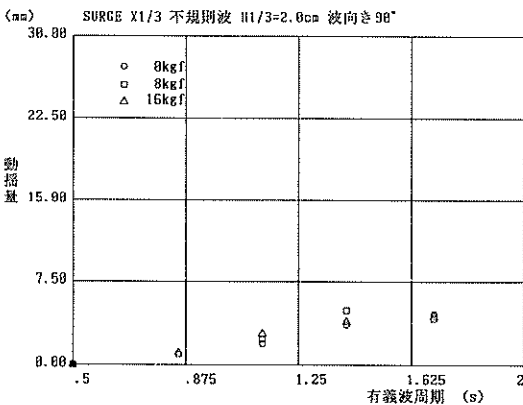


図-3.19 起重機船の動揺量
(サージング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 波向 90°)

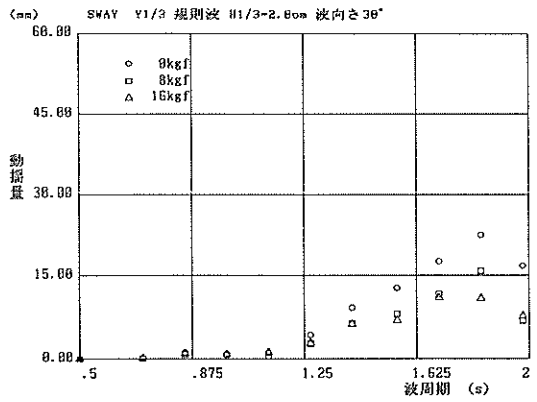


図-3.22 起重機船の動揺量
(スウェイング, 規則波 $H=2\text{cm}$, 波向 30°)

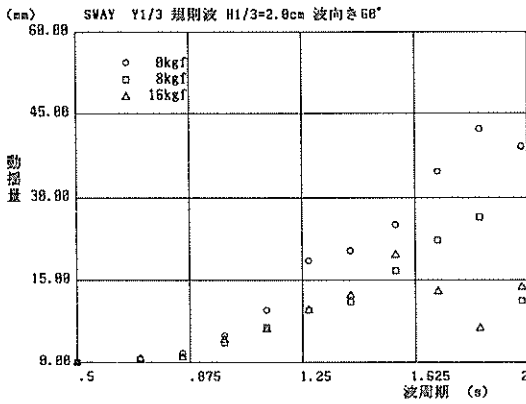


図-3.23 起重機船の動揺量
(スウェイング, 規則波H=2cm, 波向60°)

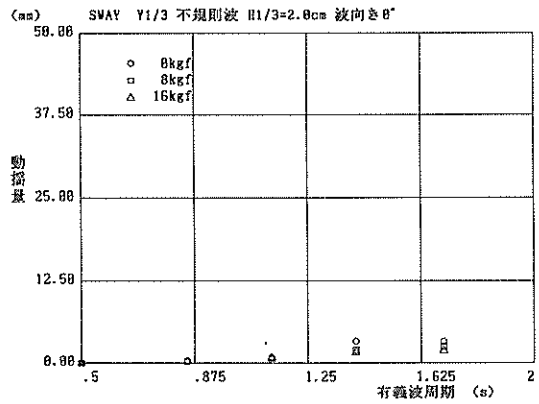


図-3.26 起重機船の動揺量
(スウェイング, 不規則波H1/3=2cm, 波向0°)

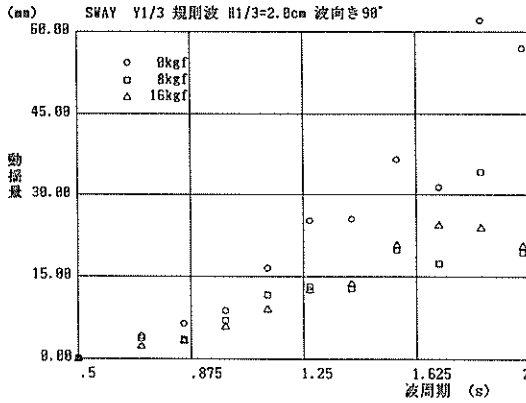


図-3.24 起重機船の動揺量
(スウェイング, 規則波H=2cm, 波向90°)

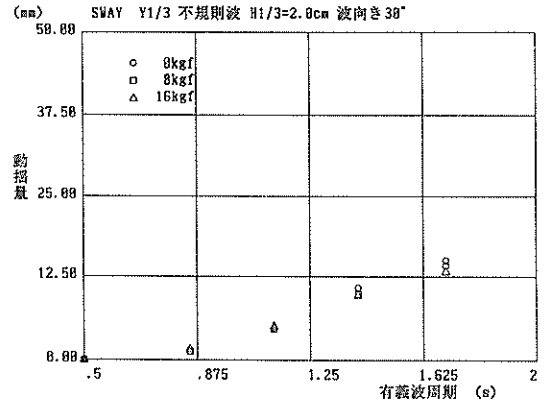


図-3.27 起重機船の動揺量
(スウェイング, 不規則波H1/3=2cm, 波向30°)

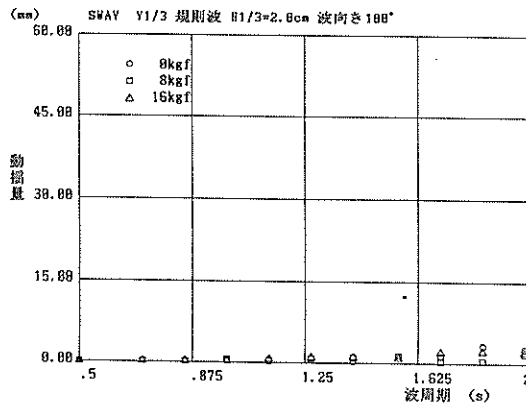


図-3.25 起重機船の動揺量
(スウェイング, 規則波H=2cm, 波向180°)

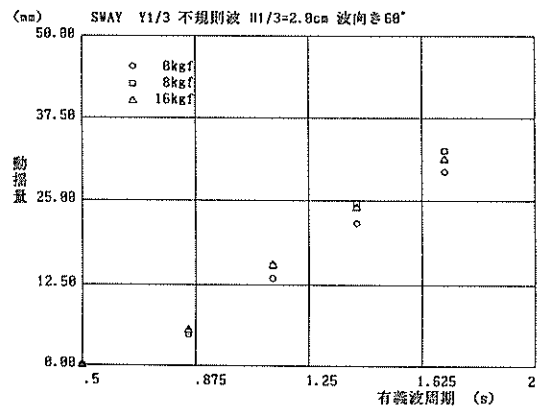


図-3.28 起重機船の動揺量
(スウェイング, 不規則波H1/3=2cm, 波向60°)

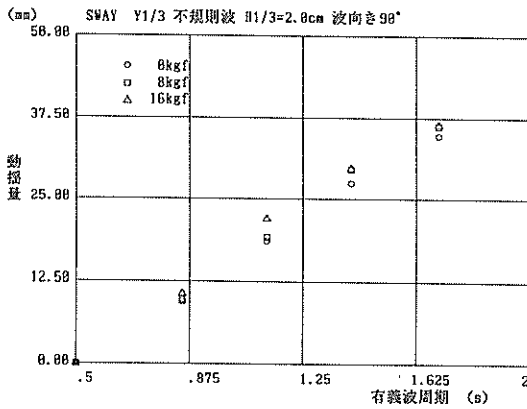


図-3.29 起重機船の動揺量
(スウェイング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 波向 90°)

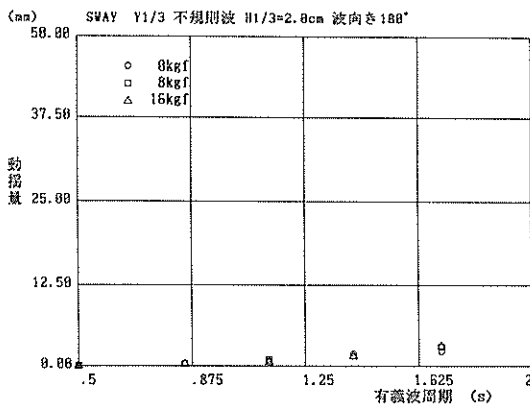


図-3.30 起重機船の動揺量
(スウェイング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 波向 180°)

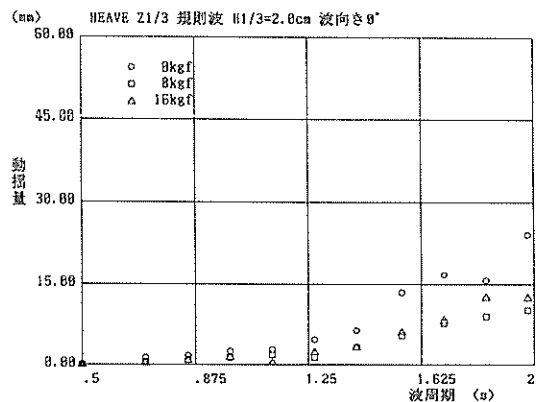


図-3.31 起重機船の動揺量
(ヒービング, 規則波 $H=2\text{cm}$, 波向 0°)

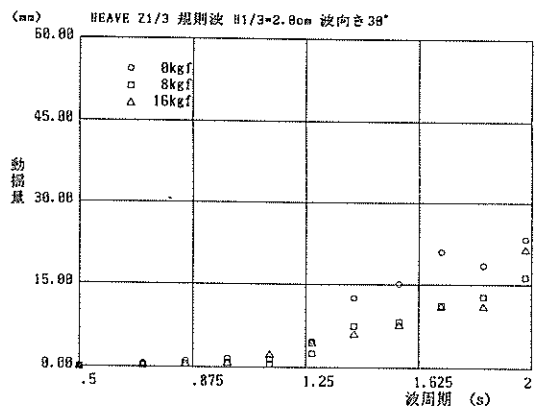


図-3.32 起重機船の動揺量
(ヒービング, 規則波 $H=2\text{cm}$, 波向 30°)

なると動揺量が増加する。ただし、波向 60° および 90° のときには、波周期が 1.13s より長くなると動揺量が急激に増加する。

- ②波向が 60° , 90° のときに、波向 0° , 30° , 180° のときよりも動揺量が多い。
- ③吊荷の有無が動揺量に与える影響は波周期が 1.13s より長くなると顕著に表れてくるが、吊荷が 0kgf のときがもっとも動揺が大きく、 8kgf , 16kgf の順に動揺量が小さくなる。
- ④不規則波中の動揺両振幅の有義値が最も大きいのは吊荷が 0kgf , 波向 90° のときで、有義波周期 $T_{1/3}=0.849\text{s}$, 1.13s , 1.41s , 1.70s の有義波高 $H_{1/3}=2.0\text{cm}$ の波に対して、それぞれ、 6.65mm , 15.1mm , 19.7mm , 24.3mm である。

に動揺量が小さくなる。

- ④不規則波中の動揺両振幅の有義値が最も大きいのは吊荷が 0kgf , 波向 90° のときで、有義波周期 $T_{1/3}=0.849\text{s}$, 1.13s , 1.41s , 1.70s の有義波高 $H_{1/3}=2.0\text{cm}$ の波に対して、それぞれ、 9.73mm , 18.5mm , 27.5mm , 34.7mm である。

ハ) ヒービング

図-3.31~3.35は波高 $H=2.0\text{cm}$ の規則波中の、また図-3.36~3.40は有義波高 $H_{1/3}=2.0\text{cm}$ の不規則波中のヒービングの動揺両振幅の有義値の波周期に対する関係を示したものである。それぞれ、波向 0° , 30° , 60° , 90° , 180° に対するものである。これらの図から以下のことが言える。

- ①規則波中および不規則波中において、波周期が長く

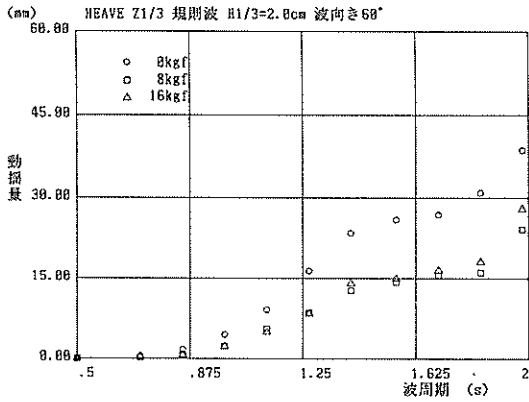


図-3.33 起重機船の動揺量
(ヒービング, 規則波H=2cm, 波向60°)

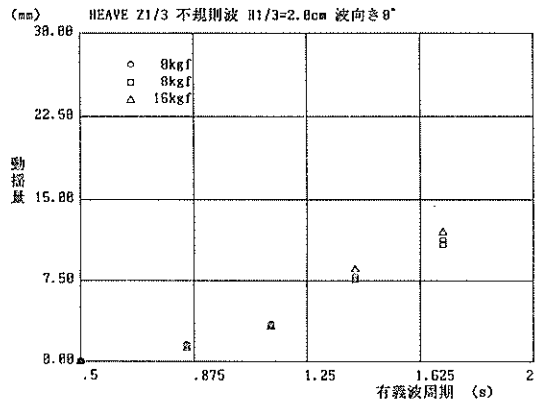


図-3.36 起重機船の動揺量
(ヒービング, 不規則波H1/3=2cm, 波向0°)

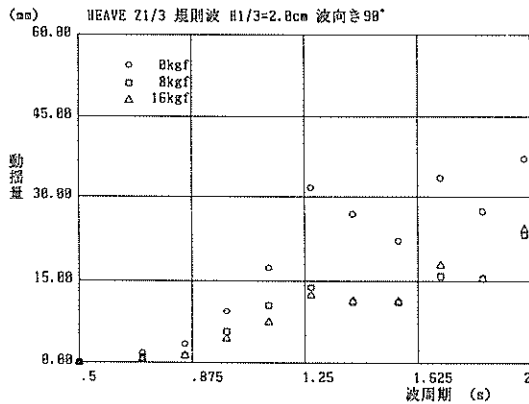


図-3.34 起重機船の動揺量
(ヒービング, 規則波H=2cm, 波向90°)

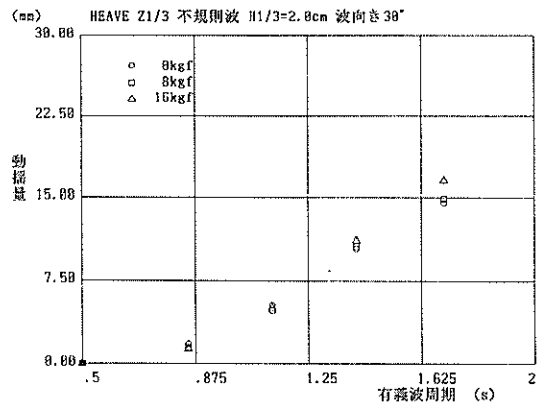


図-3.37 起重機船の動揺量
(ヒービング, 不規則波H1/3=2cm, 波向30°)

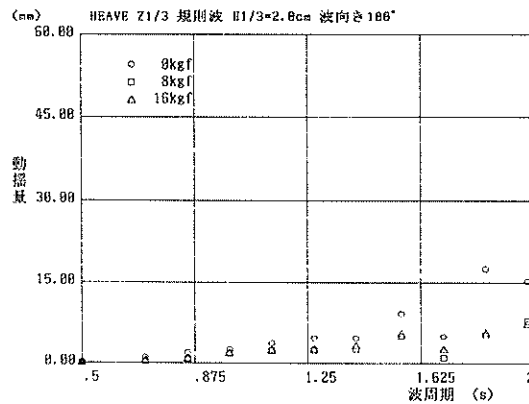


図-3.35 起重機船の動揺量
(ヒービング, 規則波H=2cm, 波向180°)

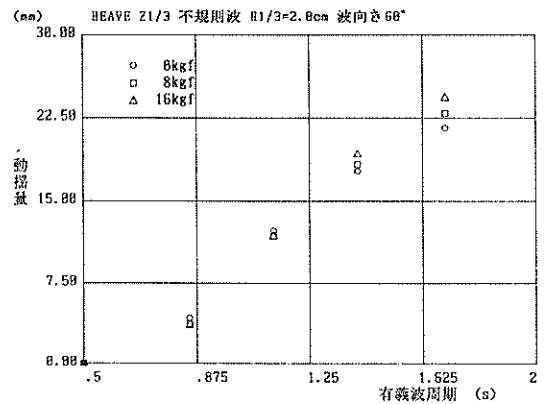


図-3.38 起重機船の動揺量
(ヒービング, 不規則波H1/3=2cm, 波向60°)

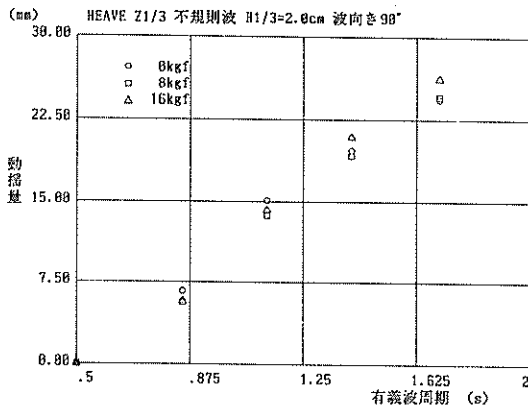


図-3.39 起重機船の動揺量
(ヒービング, 不規則波H_{1/3}=2cm, 波向90°)

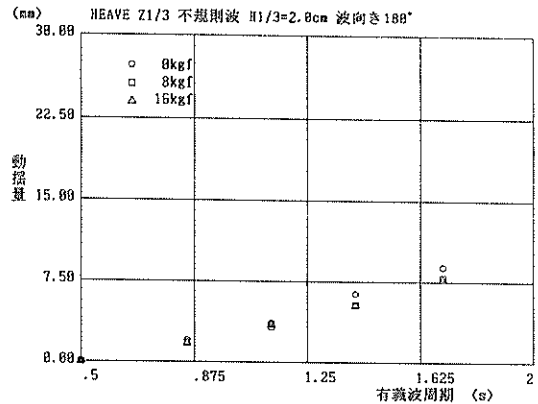


図-3.40 起重機船の動揺量
(ヒービング, 不規則波H_{1/3}=2cm, 波向180°)

ニ) ローリング

図-3.41~3.45は波高H=2.0cmの規則波中の, また図-3.46~3.50は有義波高H_{1/3}=2.0cmの不規則波中のローリングの動揺両振幅の有義値の波周期に対する関係を示したものである。それぞれ, 波向0°, 30°, 60°, 90°, 180°に対するものである。これらの図から以下のことが言える。

- ①規則波中および不規則波中において, 波周期が長くなると動揺量が増加する。ただし, 波向60°および90°のときには, 波周期が1.27sより長くなると動揺量が急激に増加する。
- ②波向が60°, 90°のときに, 波向0°, 30°, 180°のときよりも動揺量が多い。
- ③吊荷の有無が動揺量に与える影響は波周期が1.27sより長くなると顕著に表れてくるが, 吊荷が0kgfのときがもっとも動揺が大きく, 8kgf, 16kgfの順に動揺量が小さくなる。ただし, 波周期1.84sのときには吊荷が8kgfのときが最も動揺量が多い。
- ④不規則波中の動揺両振幅の有義値が最も大きいのは吊荷が0kgf, 波向90°のときで, 有義波周期T_{1/3}=0.849s, 1.13s, 1.41s, 1.70sの有義波高H_{1/3}=2.0cmの波に対して, それぞれ, 0.323°, 0.873°, 2.62°, 4.33°である。

ホ) ピッチング

図-3.51~3.55は波高H=2.0cmの規則波中の, また図-3.56~3.60は有義波高H_{1/3}=2.0cmの不規則波中のピッチングの動揺両振幅の有義値の波周期に対する関係を示したものである。それぞれ, 波向0°, 30°, 60°, 90°, 180°に対するものである。これらの図から以下のことが言える。

- ①規則波中および不規則波中において, 波周期が長くなると動揺量が増加する。ただし, 波向90°の場合を除いて, 波周期が1.27sより長くなると動揺量が急激に増加する。
- ②波向が0°, 30°, 60°, 180°のときに, 波向90°のときよりも動揺量が多い。
- ③吊荷の有無が動揺量に及ぼす影響は小さいが, 吊荷が0kgfのときの動揺量が吊荷が有る場合の動揺量より大きい。
- ④不規則波中の動揺両振幅の有義値が最も大きいのは吊荷が0kgf, 波向180°のときで, 有義波周期T_{1/3}=0.849s, 1.13s, 1.41s, 1.70sの有義波高H_{1/3}=2.0cmの波に対して, それぞれ, 0.253°, 1.35°, 2.66°, 3.51°である。

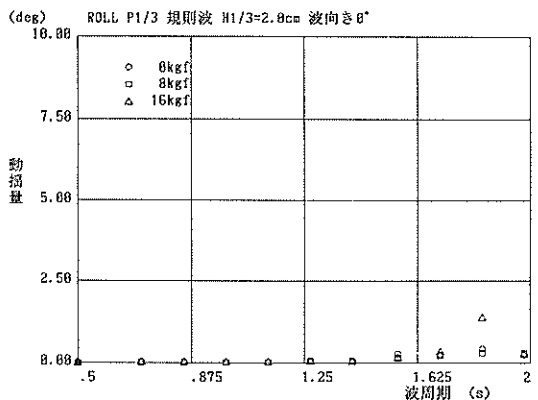


図-3.41 起重機船の動揺量
(ローリング, 規則波H=2cm, 波向0°)

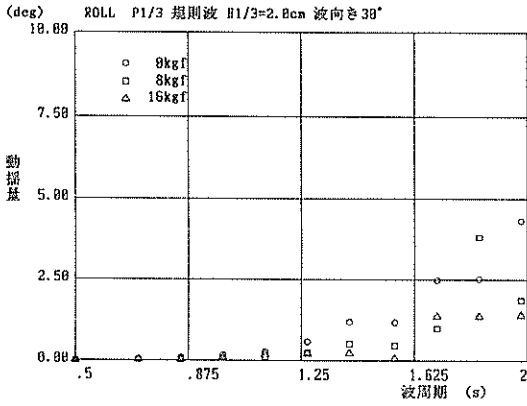


図-3.42 起重機船の動揺量
(ローリング, 規則波H=2cm, 波向き30°)

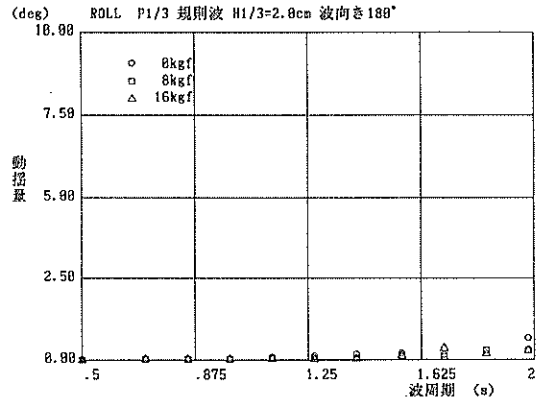


図-3.45 起重機船の動揺量
(ローリング, 規則波H=2cm, 波向き180°)

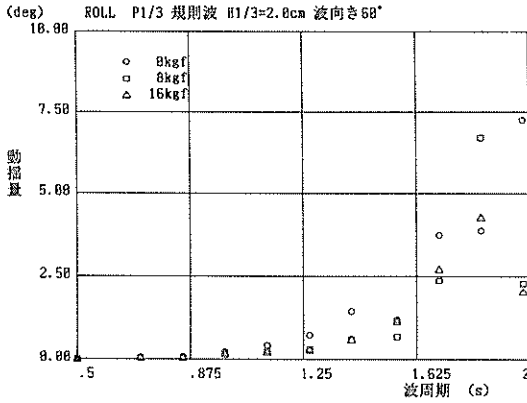


図-3.43 起重機船の動揺量
(ローリング, 規則波H=2cm, 波向き60°)

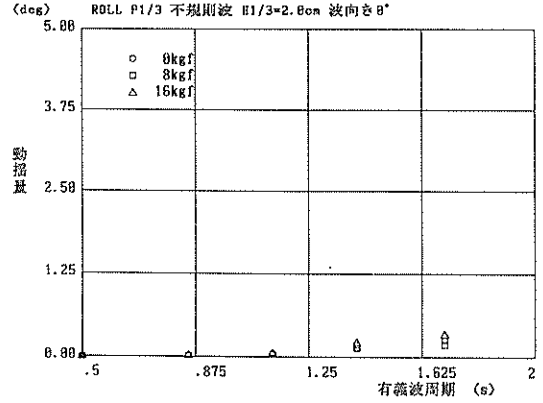


図-3.46 起重機船の動揺量
(ローリング, 不規則波H_{1/3}=2cm, 波向き0°)

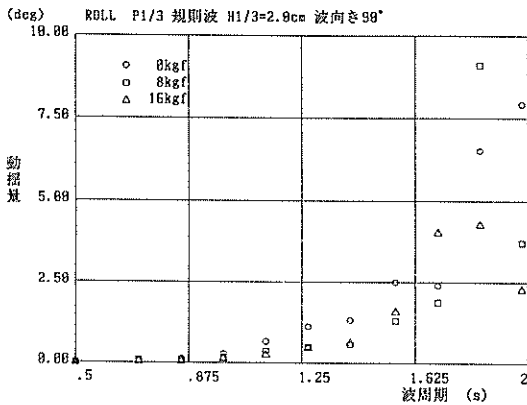


図-3.44 起重機船の動揺量
(ローリング, 規則波H=2cm, 波向き90°)

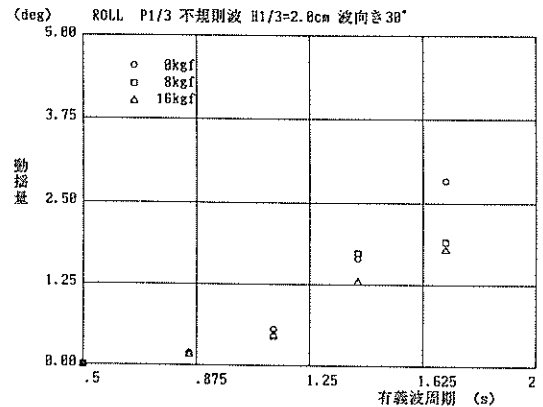


図-3.47 起重機船の動揺量
(ローリング, 不規則波H_{1/3}=2cm, 波向き30°)

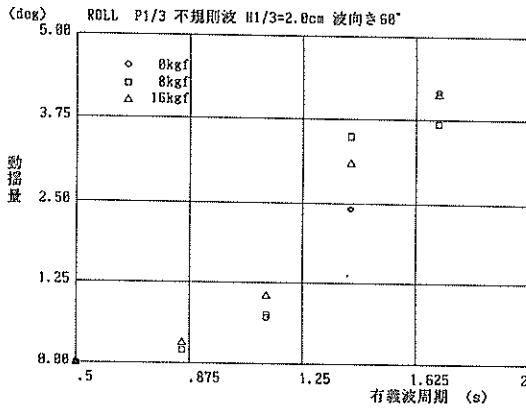


図-3.48 起重機船の動揺量
(ローリング, 不規則波H1/3=2cm, 波向60°)

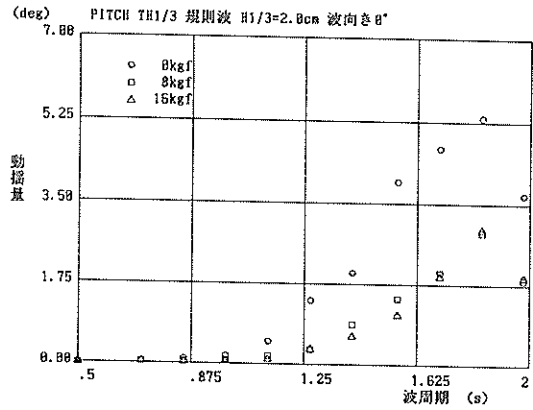


図-3.51 起重機船の動揺量
(ピッチング, 規則波H=2cm, 波向0°)

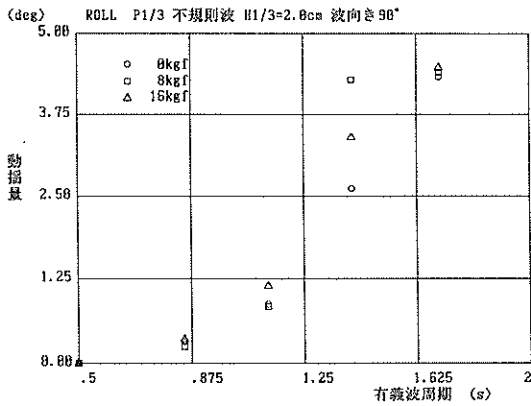


図-3.49 起重機船の動揺量
(ローリング, 不規則波H1/3=2cm, 波向90°)

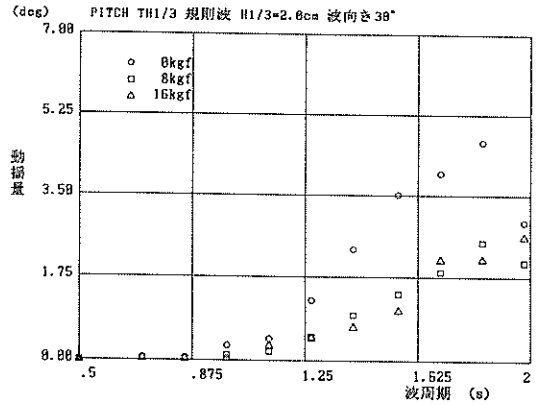


図-3.52 起重機船の動揺量
(ピッチング, 規則波H=2cm, 波向30°)

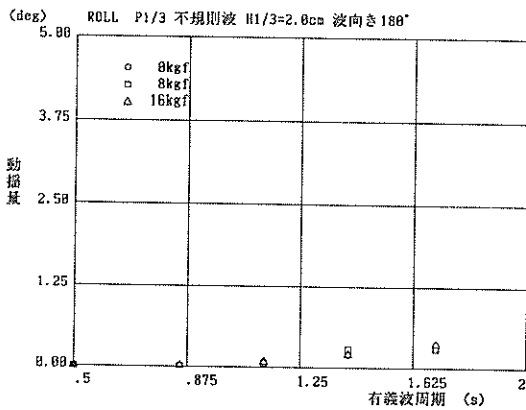


図-3.50 起重機船の動揺量
(ローリング, 不規則波H1/3=2cm, 波向180°)

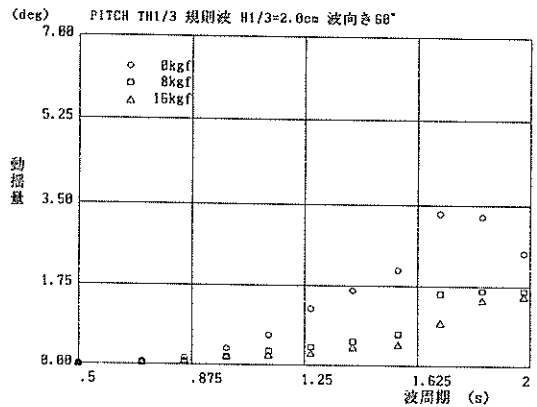


図-3.53 起重機船の動揺量
(ピッチング, 規則波H=2cm, 波向60°)

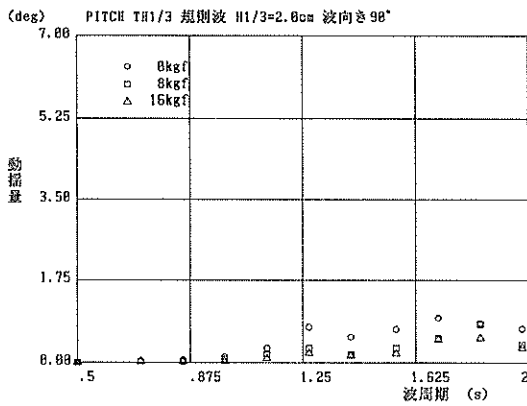


図-3.54 起重機船の動揺量
(ピッチング, 規則波 $H=2\text{cm}$, 波向き 90°)

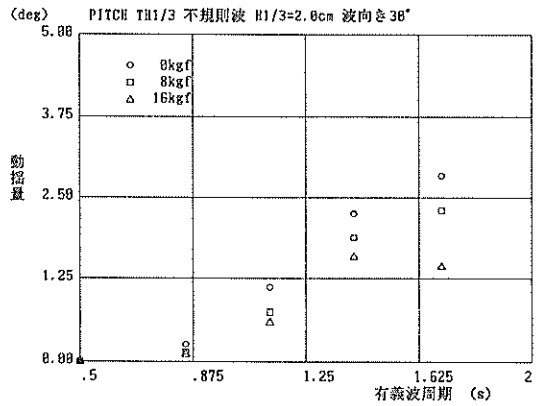


図-3.57 起重機船の動揺量
(ピッチング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 波向き 36°)

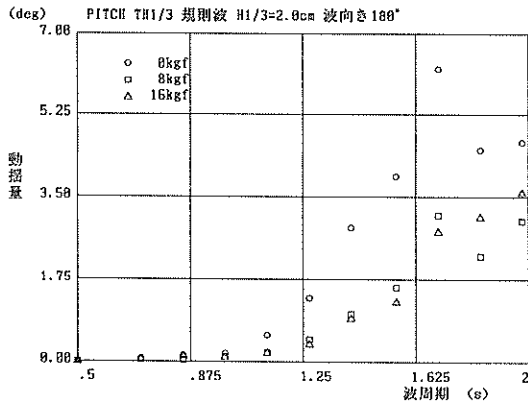


図-3.55 起重機船の動揺量
(ピッチング, 規則波 $H=2\text{cm}$, 波向き 180°)

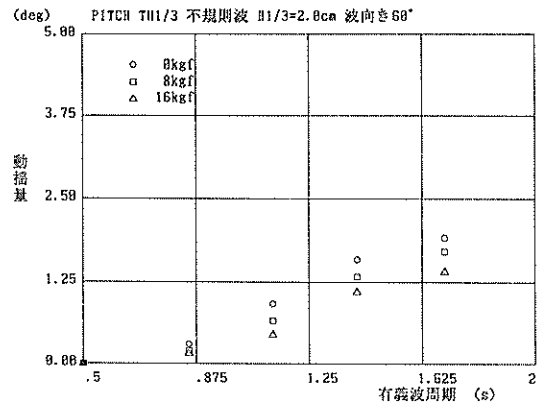


図-3.58 起重機船の動揺量
(ピッチング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 波向き 60°)

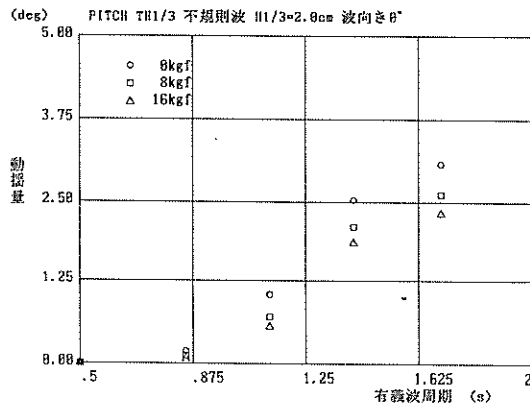


図-3.56 起重機船の動揺量
(ピッチング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 波向き 0°)

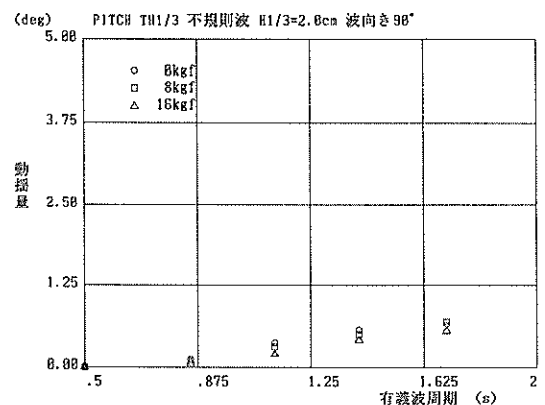


図-3.59 起重機船の動揺量
(ピッチング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 波向き 90°)

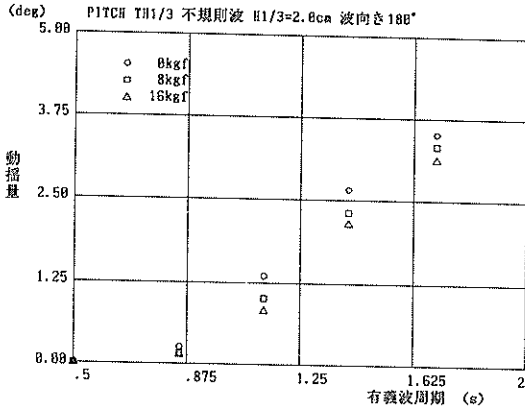


図-3.60 起重機船の動揺量
(ピッチング, 不規則波 $H_{1/3}=2.0\text{cm}$, 波向 180°)

へ) ヨウイング

図-3.61~3.65は波高 $H=2.0\text{cm}$ の規則波中の, また図-3.66~3.70は有義波高 $H_{1/3}=2.0\text{cm}$ の不規則波中の

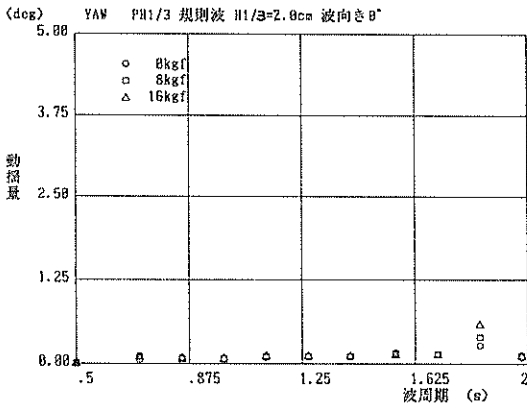


図-3.61 起重機船の動揺量
(ヨウイング, 規則波 $H=2\text{cm}$, 波向 0°)

ヨウイングの動揺両振幅の有義値の波周期に対する関係を示したものである。それぞれ, 波向 $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ に対するものである。これらの図から以下のことが言える。

- ①規則波中および不規則波中において, 波周期が長くなると動揺量が増加する。ただし, 波向 $30^\circ, 60^\circ$ および 90° のときには, 波周期が 1.27s より長くなると動揺量が急激に増加する。
- ②波向が $30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ のときに, 波向 $0^\circ, 180^\circ$ のときよりも動揺量が多い。
- ③吊荷の有無が動揺量に与える影響は波周期が 1.13s より長くなると顕著に表れてくるが, 吊荷が 0kgf のときがもっとも動揺が大きく, $8\text{kgf}, 16\text{kgf}$ の順に動揺量が小さくなる。ただし, 波周期が 1.70s および 1.84s では吊荷が 8kgf のときに動揺量が多い。
- ④不規則波中の動揺両振幅の有義値が最も大きいのは

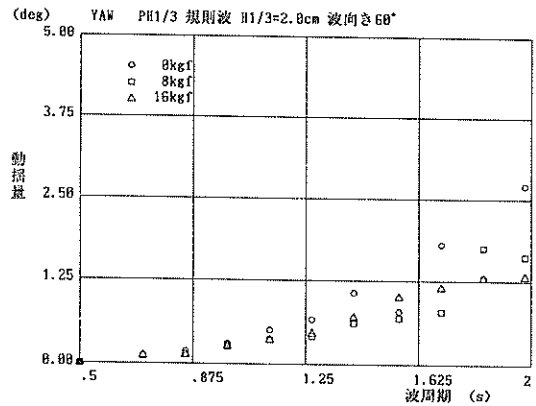


図-3.63 起重機船の動揺量
(ヨウイング, 規則波 $H=2\text{cm}$, 波向 60°)

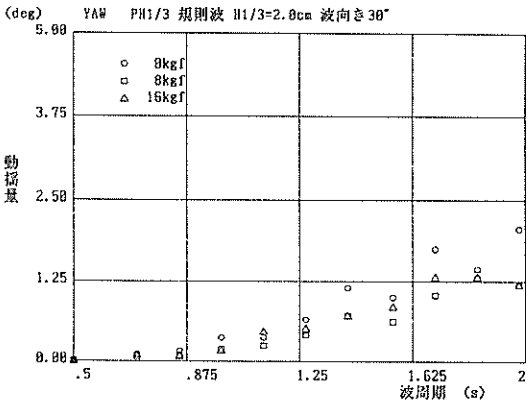


図-3.62 起重機船の動揺量
(ヨウイング, 規則波 $H=2\text{cm}$, 波向 30°)

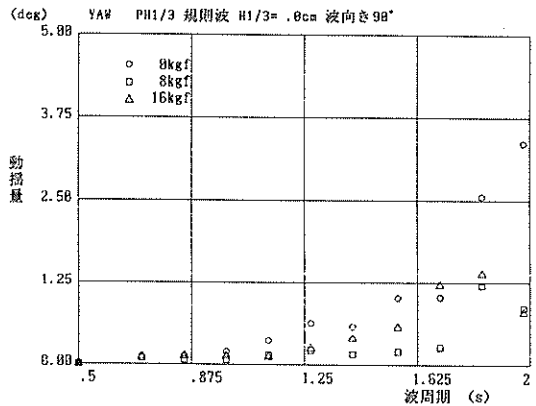


図-3.64 起重機船の動揺量
(ヨウイング, 規則波 $H=2\text{cm}$, 波向 90°)

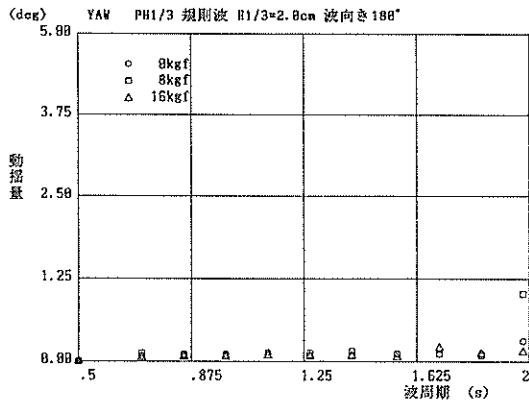


図-3.65 起重機船の動揺量
(ヨウイング, 規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 波向 180°)

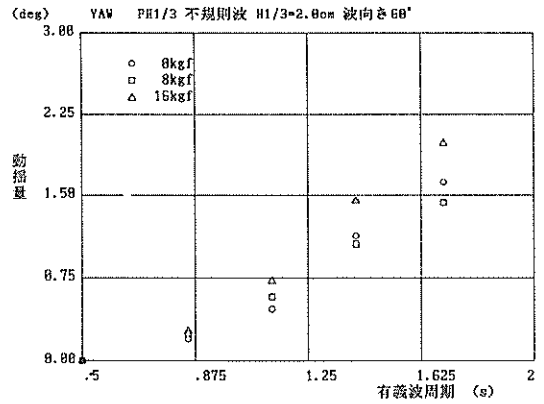


図-3.68 起重機船の動揺量
(ヨウイング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 波向 60°)

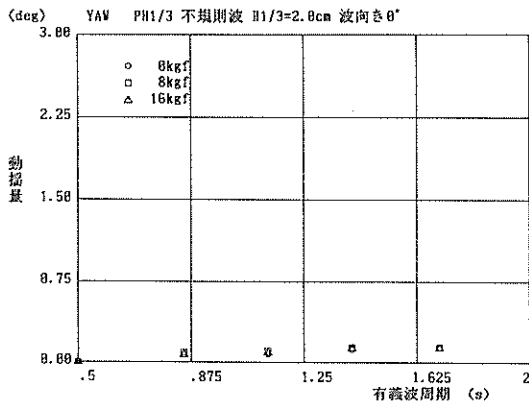


図-3.66 起重機船の動揺量
(ヨウイング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 波向 0°)

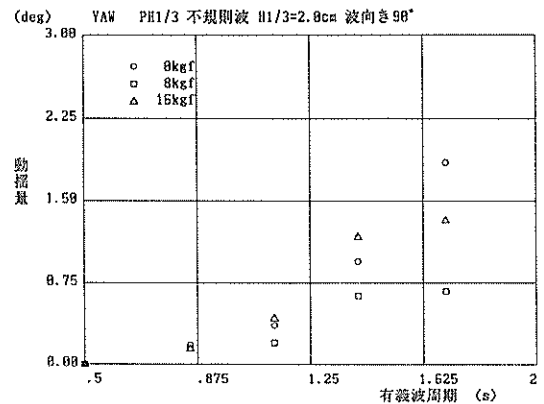


図-3.69 起重機船の動揺量
(ヨウイング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 波向 90°)

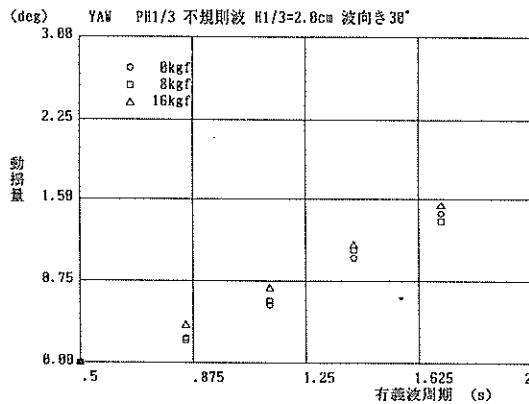


図-3.67 起重機船の動揺量
(ヨウイング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 波向 30°)

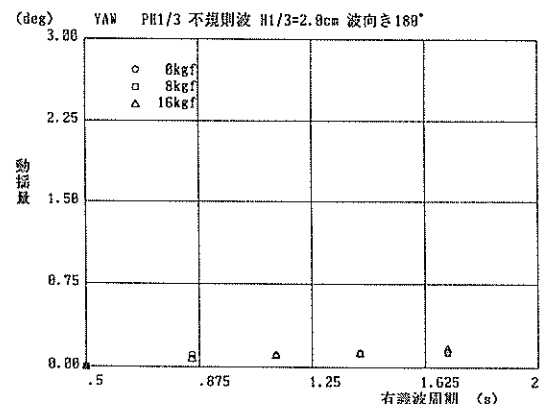


図-3.70 起重機船の動揺量
(ヨウイング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 波向 180°)

吊荷が0 kgf, 波向90°のときで, 有義波周期 $T_{1/3} = 0.849s, 1.13s, 1.41s, 1.70s$ の有義波高 $H_{1/3} = 2.0cm$ の波に対して, それぞれ, $0.180^\circ, 0.364^\circ, 0.950^\circ, 1.85^\circ$ である。

b. 起重機船の動揺周期

図-3.71~3.76は波高 $H = 2.0cm$ の規則波中の, また図-3.77~3.82は有義波高 $H_{1/3} = 2.0cm$ の不規則波中の動揺周期の波周期に対する関係を示したものである。波向は各動揺成分について, サージングおよびピッチングについては 0° , スウェイング, ヒーピングおよびローリングについては 90° , ヨウイングについては 60° である。

規則波中においてはいずれの成分についても動揺周期は波周期と同一であるが, 不規則波中においては動揺周期は波周期より長くなる。ローリングおよびピッチングについては自由振動実験より得られた固有周期がそれぞれ $2.0s$ および $1.7s$ であるので, 不規則波中の実験では起重機船のローリングおよびピッチングの動揺周期はそれらの固有周期に近い。また, 前項に示したように動揺量には顕著な影響がみられる。

3) 起重機船の動揺と波高との関係

図-3.83~3.100は規則波中の, また図-3.101~3.118は不規則波中の動揺両振幅の有義値の波周期に対する関係を波高をパラメータとして示したものである。波向は各動揺成分について, サージングおよびピッチングは 0° , スウェイング, ヒーピングおよびローリングは 90° , ヨウイングは 60° である。

これらの図から, この動揺実験の波高の範囲では起重機船の動揺はほぼ波高に比例すると考えられる。ただし, 波高 $H = 3.0cm$ のときには起重機船の動揺が全般的に大きくなるので, 動揺成分によっては必ずしも線形性が得られない。吊荷荷重が波高に対する動揺の線形性に及ぼす影響は小さいものと考えられる。

4) 起重機船の動揺と波向との関係

先に図-3.11~3.70に示したところにより, 起重機船の動揺両振幅の有義値と波向との関係について以下のことが言える。

- ① サージング, ピッチングは, 波向が $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ および 180° のときに, 波向 90° のときよりも動揺量が大きい。
- ② スウェイング, ヒーピングおよびローリングは波向が $60^\circ, 90^\circ$ のときに, 波向 $0^\circ, 30^\circ, 180^\circ$ のときよりも動揺量が大きい。
- ③ ヨウイングは波向が $30^\circ, 60^\circ$ および 90° のときに波向 $0^\circ, 180^\circ$ のときよりも動揺量が大きい。

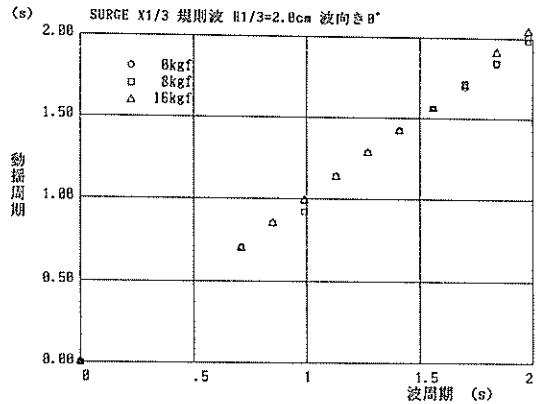


図-3.71 起重機船の動揺量
(サージング, 規則波 $H=2cm$, 波向 0°)

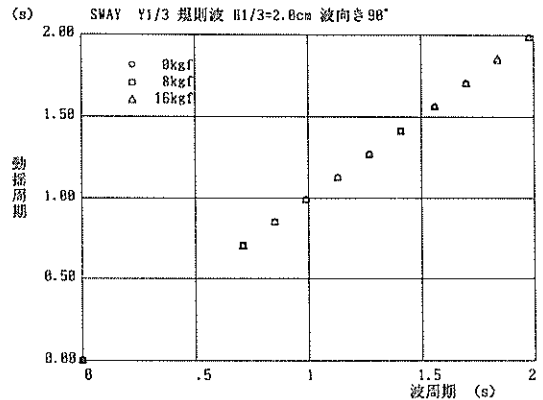


図-3.72 起重機船の動揺量
(スウェイング, 規則波 $H=2cm$, 波向 90°)

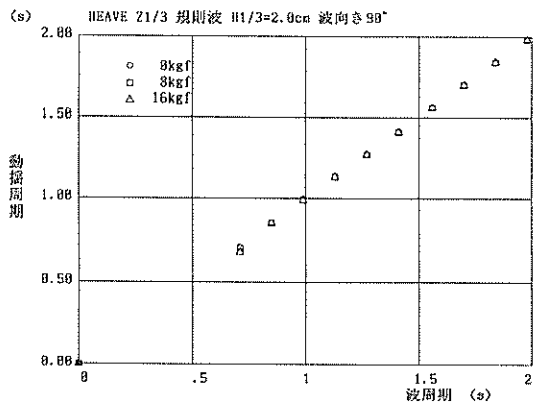


図-3.73 起重機船の動揺量
(ヒーピング, 規則波 $H=2cm$, 波向 90°)

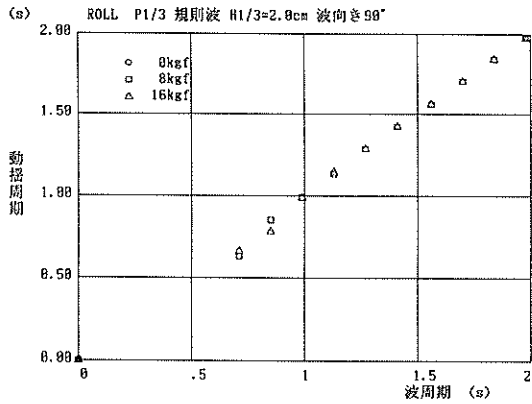


図-3.74 起重機船の動揺量
(ローリング, 規則波H=2cm, 波向90°)

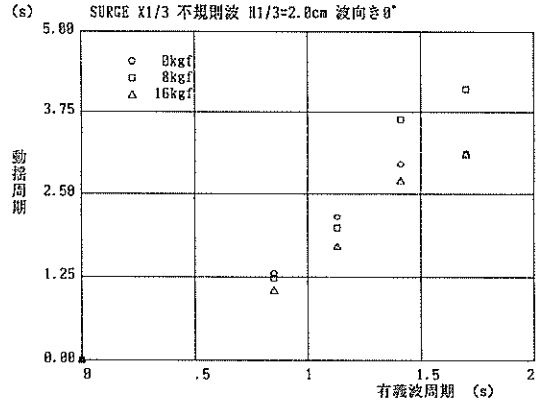


図-3.77 起重機船の動揺量
(サージング, 不規則波H1/3=2cm, 波向0°)

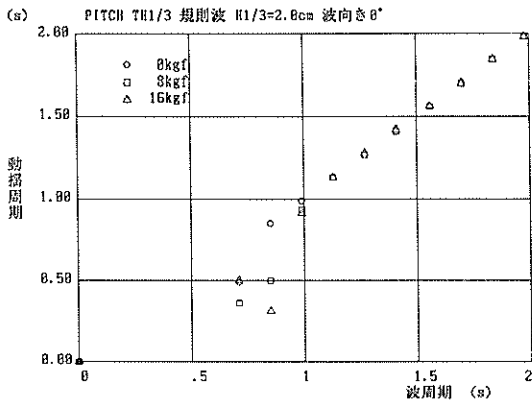


図-3.75 起重機船の動揺量
(ピッチング, 規則波H=2cm, 波向0°)

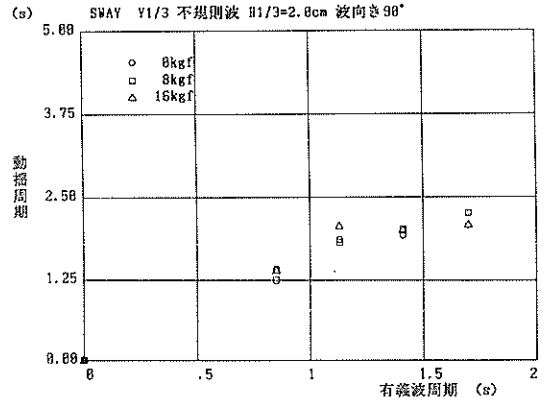


図-3.78 起重機船の動揺量
(スウェイング, 不規則波H1/3=2cm, 波向90°)

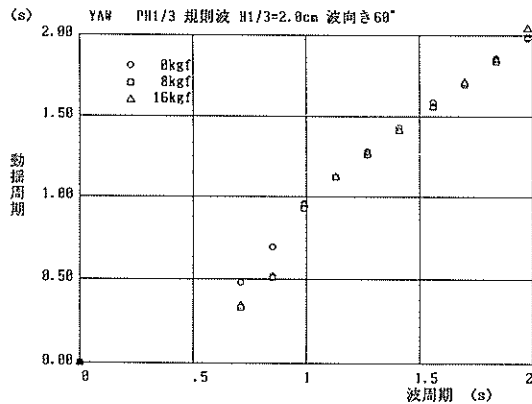


図-3.76 起重機船の動揺量
(ヨウイング, 規則波H=2cm, 波向60°)

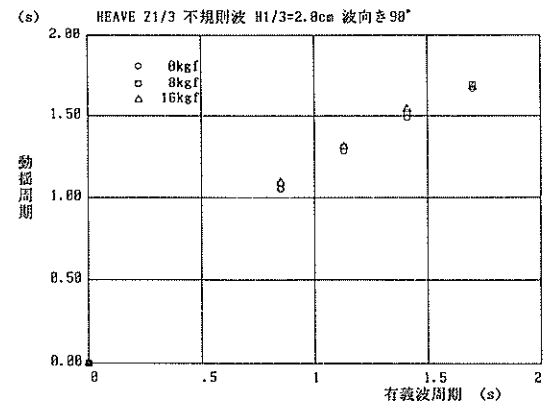


図-3.79 起重機船の動揺量
(ヒービング, 不規則波H1/3=2cm, 波向90°)

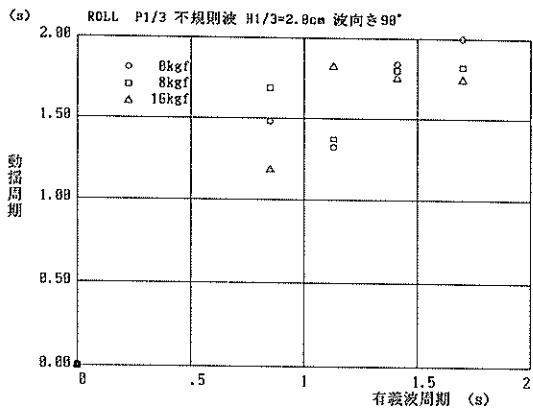


図-3.80 起重機船の動揺量
(ローリング, 不規則波H_{1/3}=2cm, 波向90°)

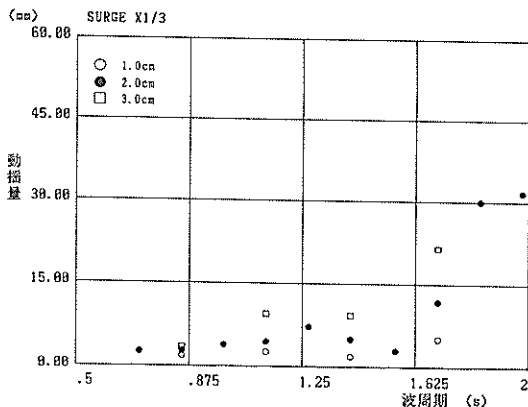


図-3.83 起重機船の動揺量
(サージング, 規則波, 吊荷なし, 波向0°)

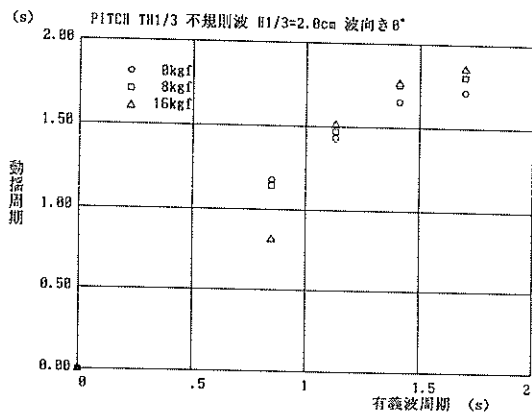


図-3.81 起重機船の動揺量
(ピッチング, 不規則波H_{1/3}=2cm, 波向0°)

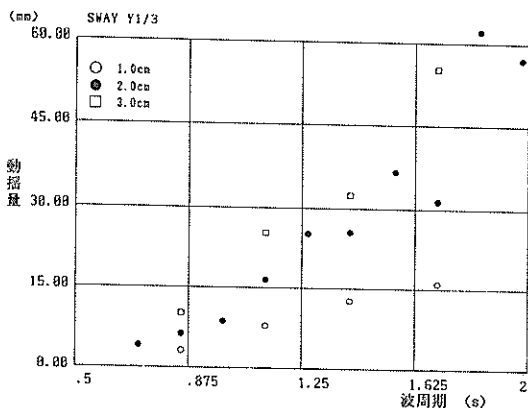


図-3.84 起重機船の動揺量
(スウェイング, 規則波, 吊荷なし, 波向90°)

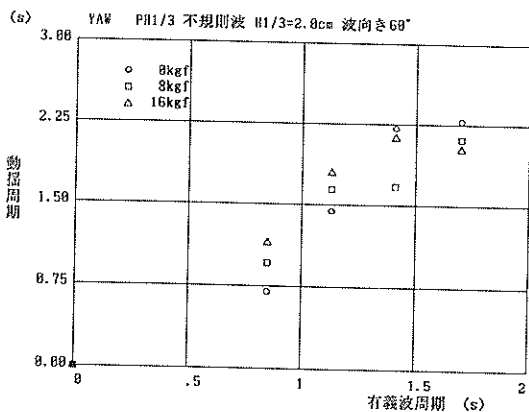


図-3.82 起重機船の動揺量
(ヨウイング, 不規則波H_{1/3}=2cm, 波向60°)

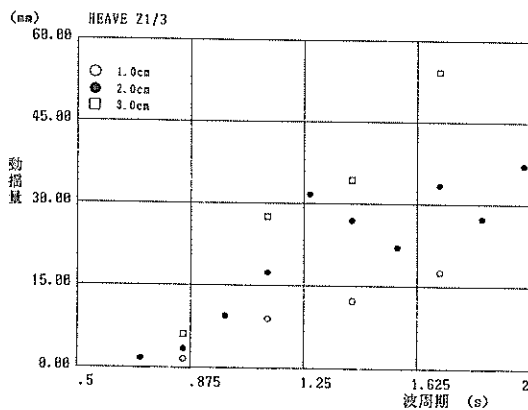


図-3.85 起重機船の動揺量
(ヒービング, 規則波, 吊荷なし, 波向90°)

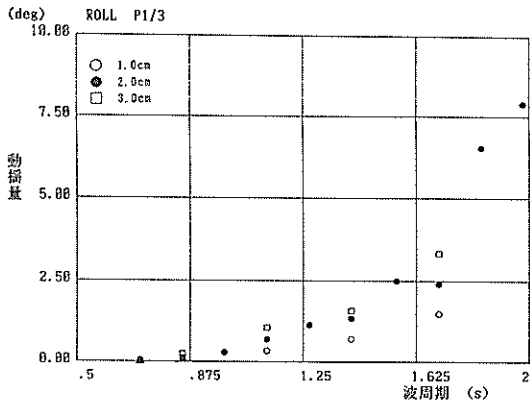


図-3.86 起重機船の動揺量
(ローリング, 規則波, 吊荷なし, 波向90°)

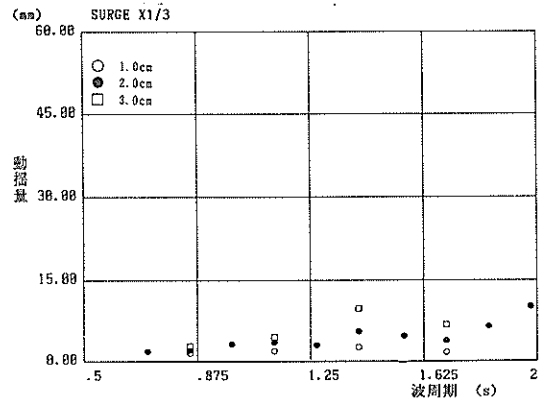


図-3.89 起重機船の動揺量
(サージング, 規則波, 8 kgf, 波向0°)

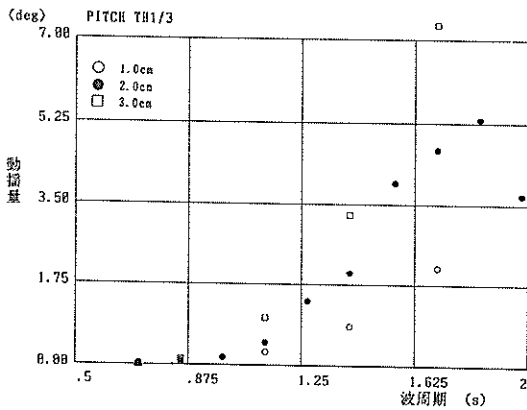


図-3.87 起重機船の動揺量
(ピッチング, 規則波, 吊荷なし, 波向0°)

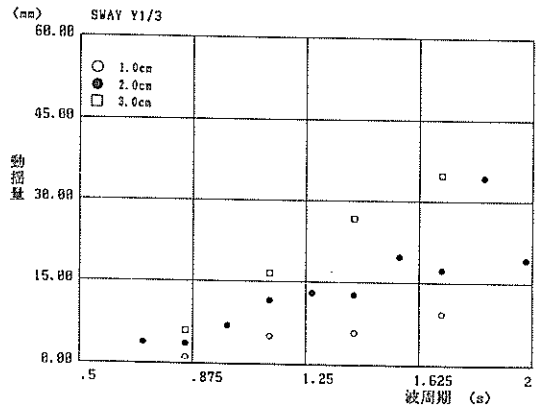


図-3.90 起重機船の動揺量
(スウェイング, 規則波, 8 kgf, 波向90°)

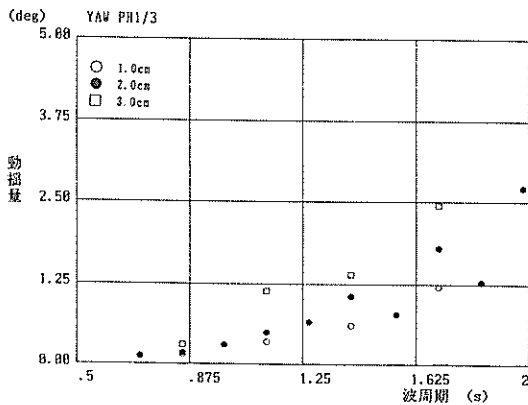


図-3.88 起重機船の動揺量
(ヨウイング, 規則波, 吊荷なし, 波向60°)

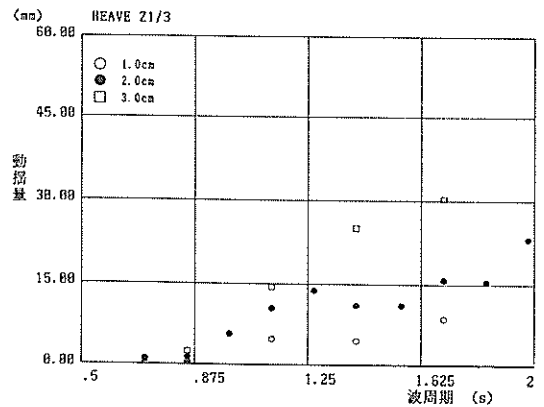


図-3.91 起重機船の動揺量
(ヒービング, 規則波, 8 kgf, 波向90°)

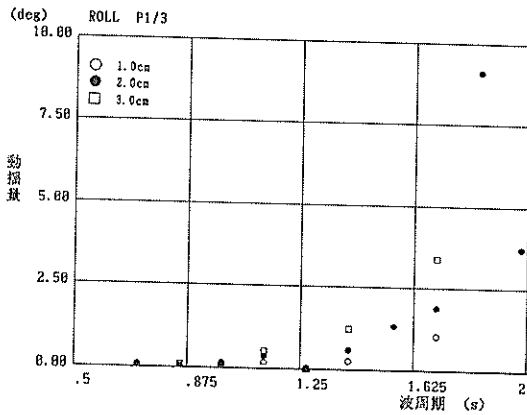


図-3.92 起重機船の動揺量
(ローリング, 規則波, 8 kgf, 波向90°)

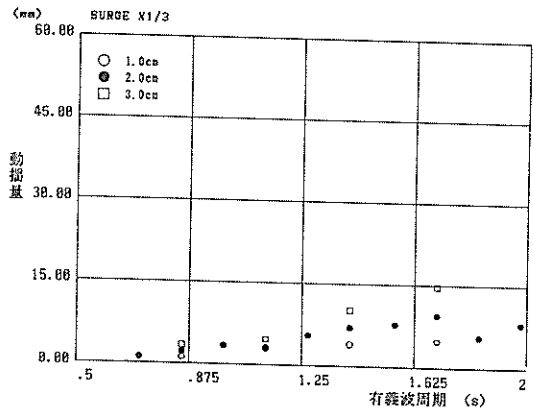


図-3.95 起重機船の動揺量
(サージング, 規則波, 16kgf, 波向0°)

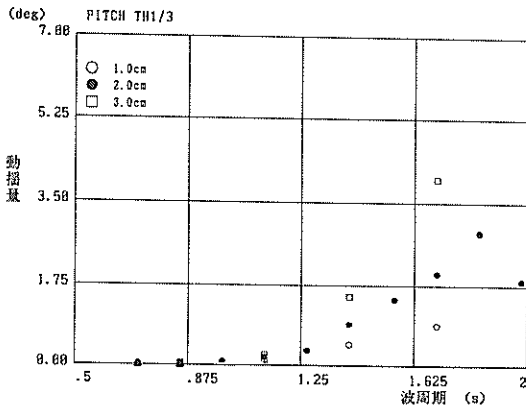


図-3.93 起重機船の動揺量
(ピッチング, 規則波, 8 kgf, 波向0°)

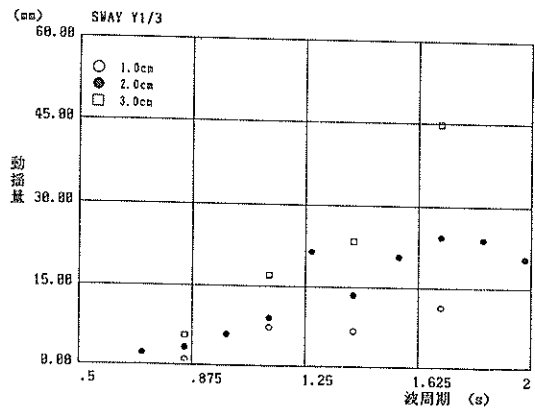


図-3.96 起重機船の動揺量
(スウェイング, 規則波, 16kgf, 波向90°)

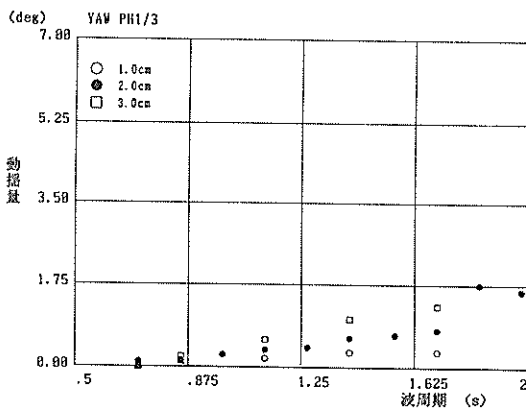


図-3.94 起重機船の動揺量
(ヨウイング, 規則波, 8 kgf, 波向60°)

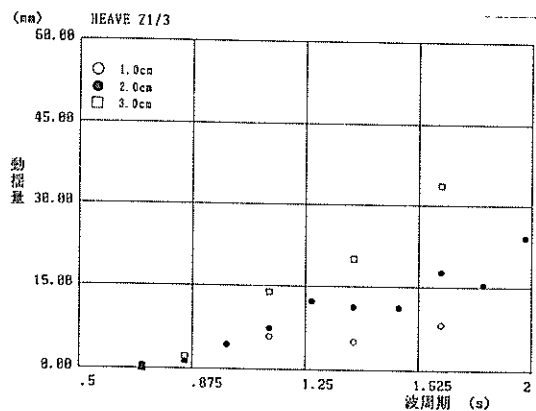


図-3.97 起重機船の動揺量
(ヒービング, 規則波, 16kgf, 波向90°)

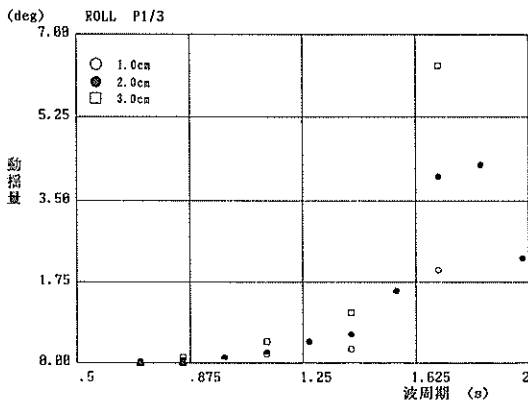


図-3.98 起重機船の動揺量
(ローリング, 規則波, 16kgf, 波向90°)

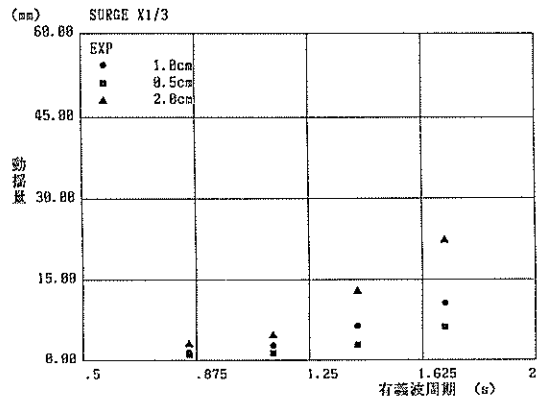


図-3.101 起重機船の動揺量
(サージング, 不規則波, 吊荷なし, 波向0°)

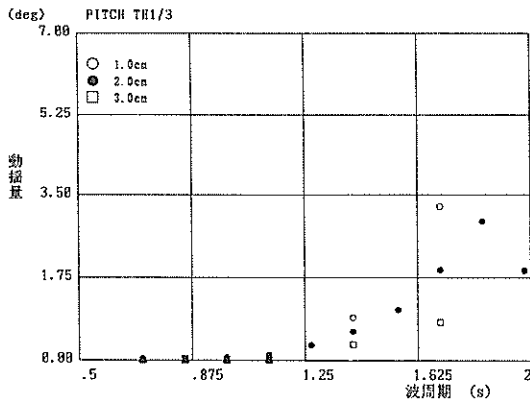


図-3.99 起重機船の動揺量
(ピッチング, 規則波, 16kgf, 波向0°)

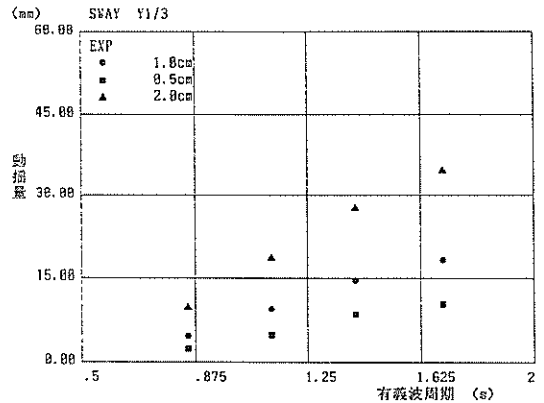


図-3.102 起重機船の動揺量
(スウェイング, 不規則波, 吊荷なし, 波向90°)

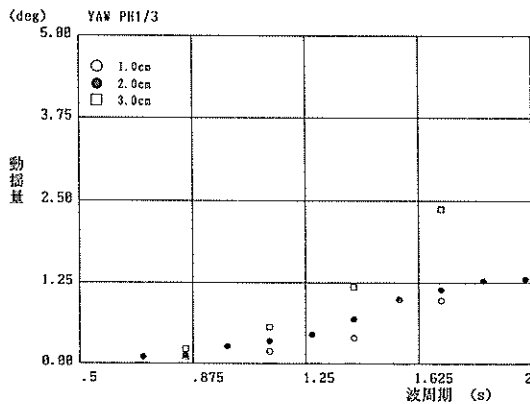


図-3.100 起重機船の動揺量
(ヨウイング, 規則波, 16kgf, 波向60°)

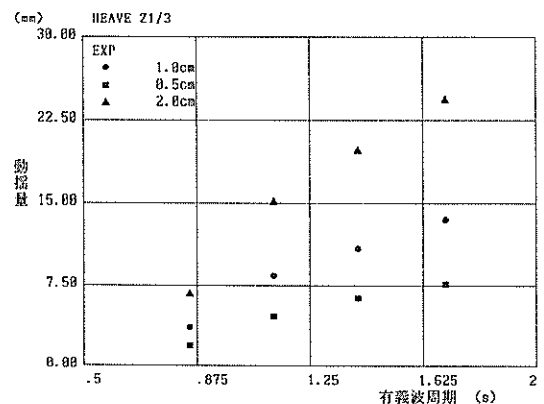


図-3.103 起重機船の動揺量
(ヒービング, 不規則波, 吊荷なし, 波向90°)

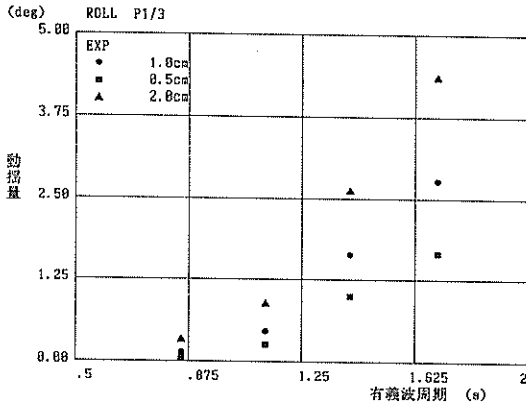


図-3.104 起重機船の動揺量
(ローリング, 不規則波, 吊荷なし, 波向90°)

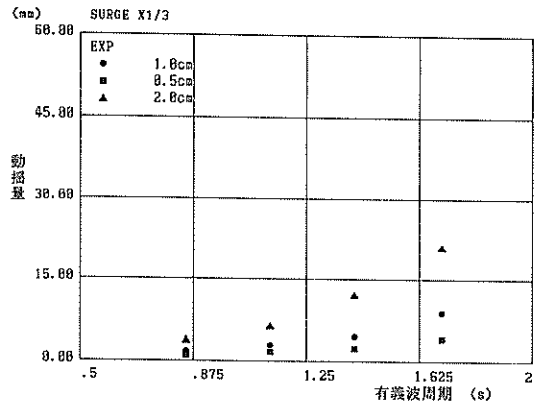


図-3.107 起重機船の動揺量
(サージング, 不規則波, 8 kgf, 波向0°)

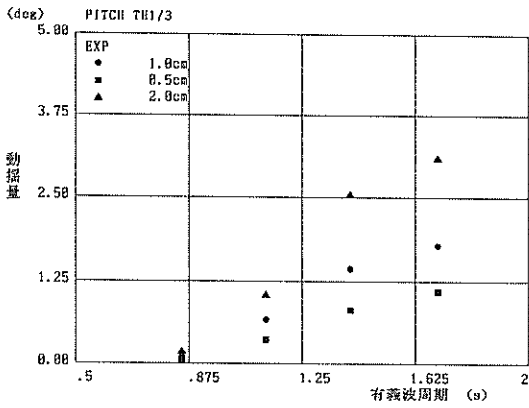


図-3.105 起重機船の動揺量
(ピッチング, 不規則波, 吊荷なし, 波向0°)

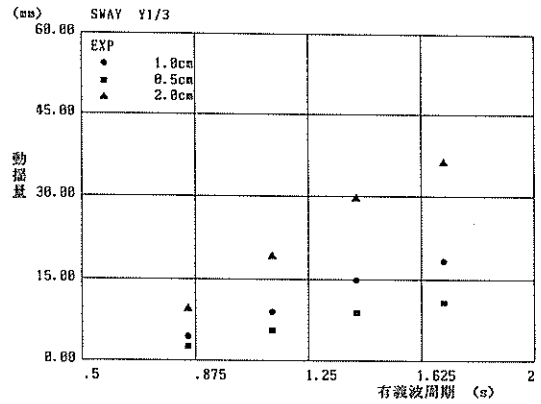


図-3.108 起重機船の動揺量
(スウェイング, 不規則波, 8 kgf, 波向90°)

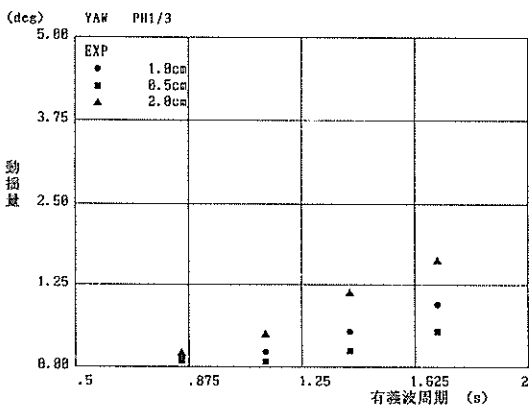


図-3.106 起重機船の動揺量
(ヨウイング, 不規則波, 吊荷なし, 波向60°)

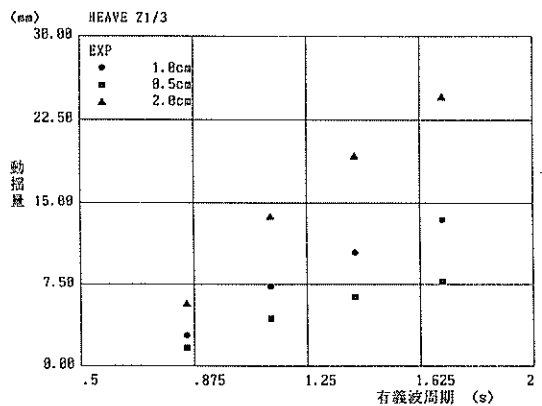


図-3.109 起重機船の動揺量
(ヒービング, 不規則波, 8 kgf, 波向90°)

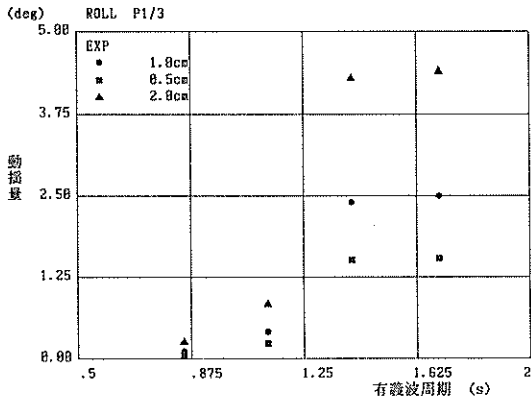


図-3.110 起重機船の動揺量
(ローリング, 不規則波, 8 kgf, 波向90°)

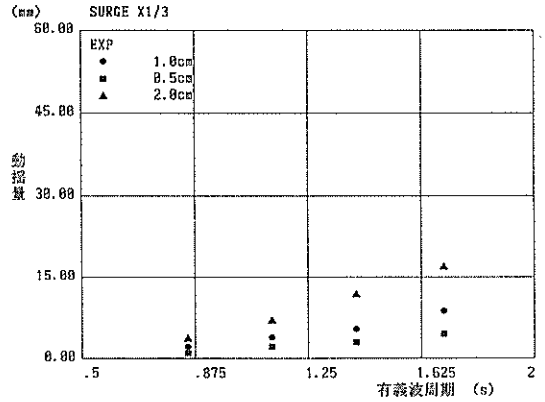


図-3.113 起重機船の動揺量
(サージング, 不規則波, 16kgf, 波向0°)

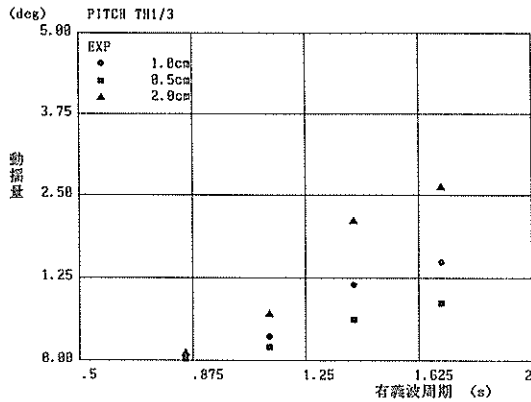


図-3.111 起重機船の動揺量
(ピッチング, 不規則波, 8 kgf, 波向0°)

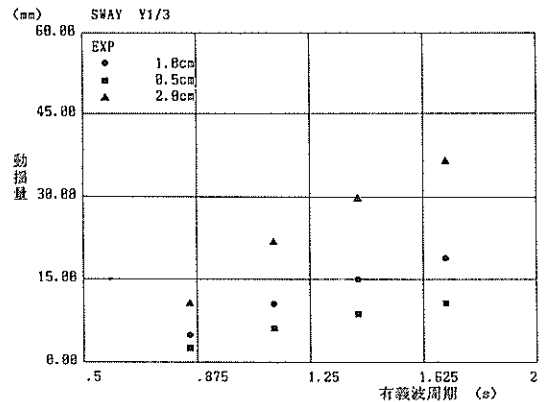


図-3.114 起重機船の動揺量
(スウェイング, 不規則波, 16kgf, 波向90°)

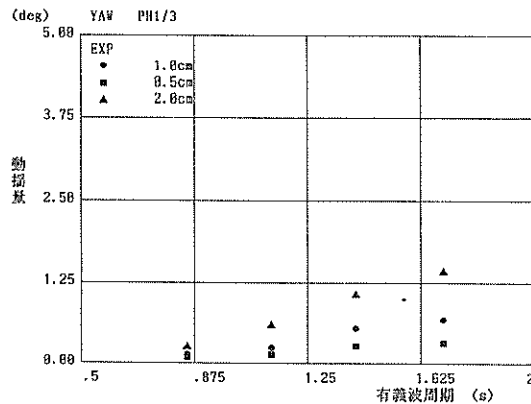


図-3.112 起重機船の動揺量
(ヨウイング, 不規則波, 8 kgf, 波向60°)

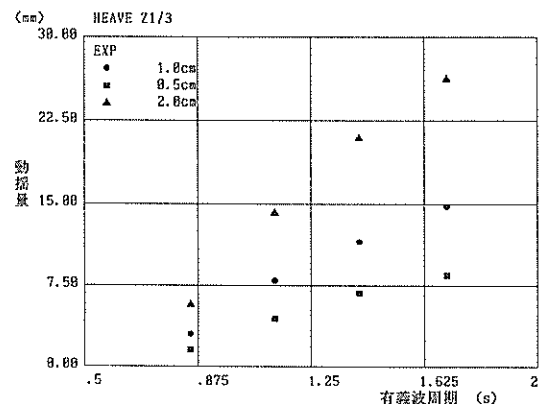


図-3.115 起重機船の動揺量
(ヒービング, 不規則波, 16kgf, 波向90°)

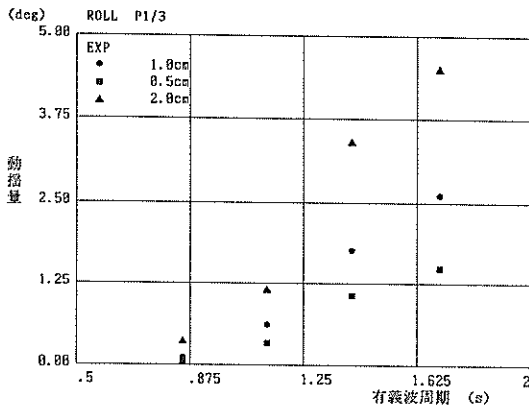


図-3.116 起重機船の動揺量
(ローリング, 不規則波, 16kgf, 波向90°)

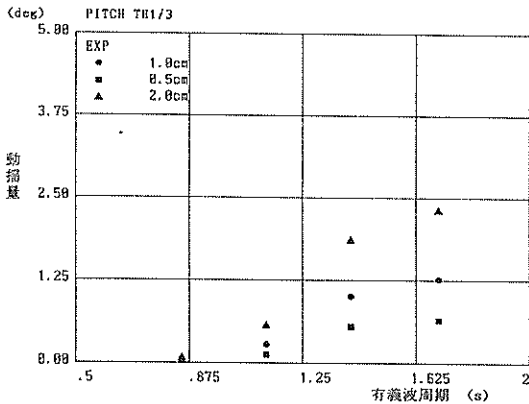


図-3.117 起重機船の動揺量
(ピッチング, 不規則波, 16kgf, 波向0°)

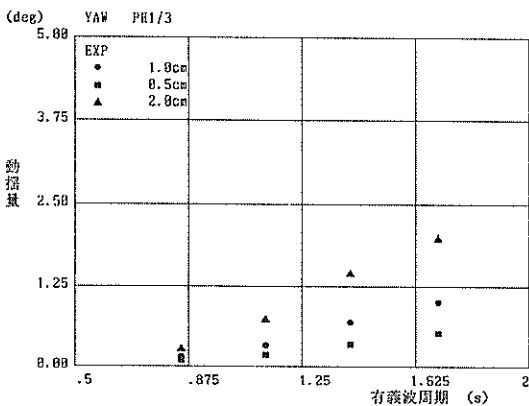


図-3.118 起重機船の動揺量
(ヨウイング, 不規則波, 16kgf, 波向60°)

5) 吊荷の動揺および吊荷張力

a. 吊荷の動揺

図-3.119~3.124は不規則波中の実験における吊荷の動揺両振幅の有義値と波周期または波向との関係を示したものである。これらの図から、以下のことが言える。

イ) 前後方向(X方向)の動揺

まず、吊荷の動揺の周期特性を調べる。図-3.119は吊荷が8kgfおよび16kgf, 波向0°, 有義波周期 $T_{1/3}=0.849s, 1.13s, 1.41s, 1.70s$ の有義波高 $H_{1/3}=2.0cm$ の波に対して、吊荷のX方向の動揺両振幅の有義値と波周期との関係を示したものである。吊荷が16kgfのときの吊荷のX方向の動揺両振幅の有義値は、上記の有義波周期に対して、それぞれ、2.85cm, 4.05cm, 9.64cm, 10.24cmである。波周期が長いほど吊荷の動揺が大きい。ただし、図示はしていないが吊荷の動揺周期は波周期および起重機船の動揺周期に比べてかなり短い。これは、X方向の吊荷の動揺にはサージング、ヒービング、ピッチングおよびヨウイングが寄与してこれらの動揺に位相差があるためである。したがって、吊荷の動揺周期が波周期より短くなる。

つぎに、吊荷の動揺両振幅の有義値と波向との関係調べる。図-3.120は吊荷が8kgfおよび16kgf, 有義波周期 $T_{1/3}=1.70s$ の有義波高 $H_{1/3}=2.0cm$ の波で、波向が0°, 30°, 60°, 90°, 180°に対する吊荷のX方向の動揺両振幅の有義値と波向との関係を示したものである。吊荷が16kgfのときの吊荷のX方向の動揺両振幅の有義値は、上記の波向に対して、それぞれ、10.24cm, 13.09cm, 19.36cm, 8.02cm, 13.4cmである。これをみると吊荷のX方向の動揺両振幅の有義値は、波向0°または180°のときよりむしろ波向30°または60°のときのほうが大きい。これは波向0°または180°のときには、サージングおよびピッチングの個々の動揺量は他の波向に比べて大きいもの、それらの位相がほぼ180°ずれるために、吊荷の動揺量がむしろ小さくなっていると考えられる。

以上の吊荷のX方向の動揺両振幅の有義値と波周期または波向との関係は吊荷が8kgfのときにも言える。

つぎに、吊荷が16kgfのときと8kgfのときの動揺量を比較する。図-3.119および図-3.120をみると、吊荷が16kgf, 波向0°, 有義波周期 $T_{1/3}=0.849s, 1.13s, 1.41s, 1.70s$ の有義波高 $H_{1/3}=2.0cm$ の波に対しては、吊荷が16kgfのときの吊荷のX方向の動揺両振幅の有義値は、それぞれ、2.85cm, 4.05cm, 9.64cm, 10.2cmであるのに対して、吊荷が8kgfのときの吊荷のX方向の動揺両振幅の有義値は、それぞれ、2.91cm, 5.36cm, 10.2cm, 14.2cmであって、吊荷が8kgfのときのほうが吊荷のX

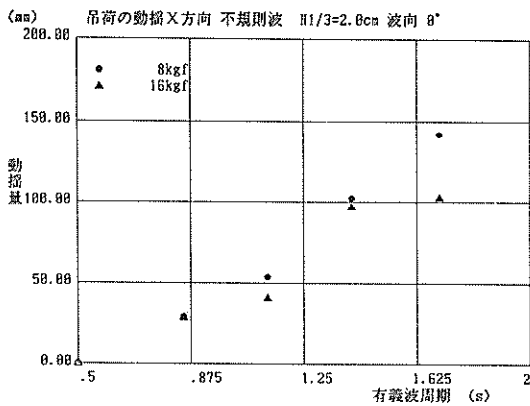


図-3.119 吊荷の X 方向の動揺量
(不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 波向 0°)

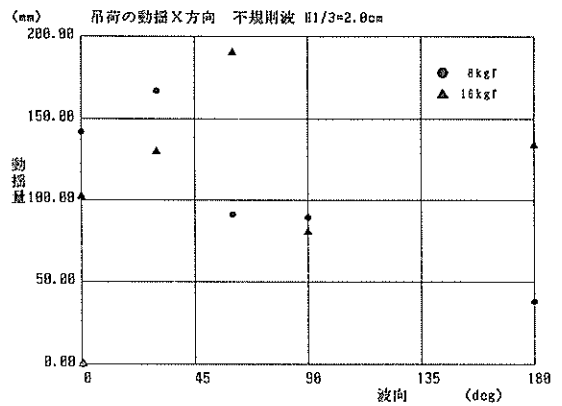


図-3.120 吊荷の X 方向の動揺量
(不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 波向 0°)

方向の動揺量がやや大きい。

ロ) 左右方向 (Y 方向) の動揺

まず、吊荷の動揺の周期特性を調べる。図-3.121は吊荷が 8 kgf および 16kgf, 波向 90° , 有義波周期 $T_{1/3}=0.849\text{s}, 1.13\text{s}, 1.41\text{s}, 1.70\text{s}$ の有義波高 $H_{1/3}=2.0\text{cm}$ の波に対して、吊荷の Y 方向の動揺両振幅の有義値と波周期との関係を示したものである。吊荷が 16kgf のときの吊荷の Y 方向の動揺両振幅の有義値は、上記の有義波周期に対して、それぞれ、12.8cm, 14.3cm, 20.9cm, 24.9cm である。波周期が長いほど吊荷の動揺が大きい。ただし、動揺周期は波周期および起重機船の動揺周期に比べてかなり短い。これは、Y 方向の吊荷の動揺にはスウェイング、ヒーピング、ローリングおよびヨウイングが寄与してこれらの動揺に位相差があるためである。したがって、吊荷の動揺周期は波周期より短くなる。つぎに、波向との関係を調べる。図-3.122は吊荷が

8 kgf および 16kgf, 有義波周期 $T_{1/3}=1.70\text{s}$ の有義波高 $H_{1/3}=2.0\text{cm}$ の波で、波向が $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ に対する吊荷の Y 方向の動揺両振幅の有義値と波向との関係を示したものである。吊荷が 16kgf のときの吊荷の Y 方向の動揺両振幅の有義値は、上記の波向に対して、それぞれ、4.13cm, 18.4cm, 3.86m, 24.9cm, 6.0cm である。これを見ると吊荷の Y 方向の動揺両振幅の有義値は、波向 30° および 90° のときに大きい。しかし、波向 60° のときにはむしろ波向 0° または 180° のときよりも動揺量が小さい。これは波向 60° のときにはスウェイングとローリングの位相差が大きいためスウェイングとローリングによる吊荷の Y 方向の動揺が相殺されるためであると考えられる。波向 90° のときにも同様に位相差があるが、スウェイングが大きいためローリングによる吊荷の Y 方向の動揺を相殺してもなお他の波向より吊荷の Y 方向の動揺両振幅の有義値が大きい。

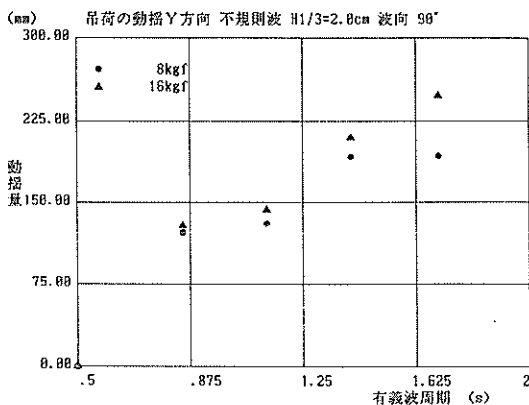


図-3.121 吊荷の Y 方向の動揺量
(不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 波向 90°)

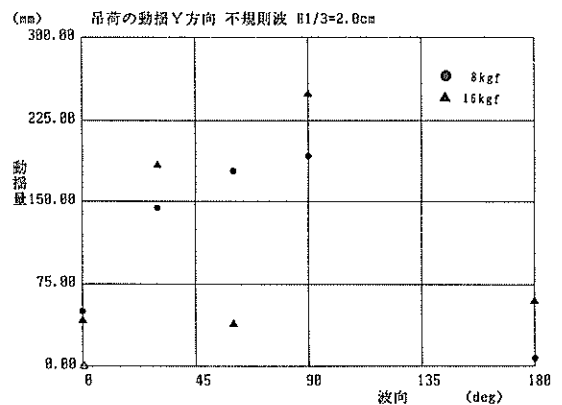


図-3.122 吊荷の Y 方向の動揺量
(不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 波向 90°)

以上の吊荷のY方向の動揺両振幅の有義値と波周期または波向との関係は吊荷が8kgfのときにも言える。

つぎに、吊荷が16kgfのときと8kgfのときの動揺量を比較する。図-3.121および図-3.122をみると、吊荷が16kgf、波向90°、有義波周期 $T_{1/3}=0.849s, 1.13s, 1.41s, 1.70s$ の有義波高 $H_{1/3}=2.0cm$ の波に対しては、吊荷が16kgfのときの吊荷のY方向の動揺両振幅の有義値は、それぞれ、12.8cm, 14.3cm, 20.9cm, 24.9cmであるのに対して、吊荷が8kgfのときの吊荷のY方向の動揺両振幅の有義値はそれぞれ12.3cm, 13.1cm, 19.2cm, 19.3cmであって、吊荷が16kgfのときのほうが吊荷のY方向の動揺量が大きく、長周期波に対して差異が大きくなる。

ハ) 上下(Z方向)の動揺

吊荷のZ方向の動揺は起重機船の側方と前方とから2個の変位計で計測しているが、これらのセンサーの指示値に若干の差異がある。これは、起重機船がローリングまたはピッチングするので、これらの影響によって測定する方向によって誤差が生じるためである。正確には吊荷の傾斜角を測定して補正しなければならないが、ここでは、そのような計測を行っていない。しかしながら、起重機船に対して側方から測定したもののほうが、前方より測定したしたものより誤差が小さいと考えられるので、起重機船の側方からみた変位計の値をもって鉛直方向の変位とする。

まず、吊荷の動揺の周期特性を調べる。図-3.123は吊荷が8kgfおよび16kgf、波向0°、有義波周期 $T_{1/3}=0.849s, 1.13s, 1.41s, 1.70s$ の有義波高 $H_{1/3}=2.0cm$ の波に対して、吊荷のZ方向の動揺両振幅の有義値と波周期との関係を示したものである。吊荷が16kgfのときの

吊荷のZ方向の動揺両振幅の有義値は、上記の有義波周期に対して、それぞれ、0.54cm, 1.11cm, 4.24cm, 5.81cmである。波周期が長いほど吊荷のZ方向の動揺両振幅が大きい。ただし、動揺周期は波周期および起重機船の動揺周期に比べてかなり短い。これは、Z方向の吊荷の動揺には、ヒービング、ローリングおよびピッチングが寄与していてこれらの動揺に位相差があるためである。したがって、吊荷の動揺周期は波周期より短くなる。

つぎに、波向との関係を調べる。図-3.124は吊荷が16kgf、有義波周期 $T_{1/3}=1.70s$ の有義波高 $H_{1/3}=2.0cm$ の波で、波向が0°, 30°, 60°, 90°, 180°に対する吊荷のZ方向の動揺両振幅の有義値と波向との関係を示したものである。吊荷のZ方向の動揺両振幅の有義値は、上記の波向に対して、それぞれ、5.81cm, 5.16cm, 4.88cm, 3.09cm, 5.03cmである。これをみると吊荷のZ方向の動揺両振幅の有義値は、波向0°, 30°, 60°および180°のときに、波向90°のときよりも大きい。以上の吊荷のZ方向の動揺両振幅の有義値と波周期または波向との関係は吊荷が8kgfのときにも言える。

つぎに、吊荷が16kgfのときと8kgfのときの動揺量を比較する。図-3.123および図-3.124をみると、吊荷が16kgf、波向0°, 有義波周期 $T_{1/3}=0.849s, 1.13s, 1.41s, 1.70s$ の有義波高 $H_{1/3}=2.0cm$ の波に対しては、吊荷が16kgfのときの吊荷のZ方向の動揺両振幅の有義値は、それぞれ、0.54cm, 1.11cm, 4.24cm, 5.81cmであるのに対して、吊荷が8kgfのときの吊荷のZ方向の動揺両振幅の有義値はそれぞれ0.65cm, 1.53cm, 5.20cm, 6.76cmであって、吊荷が8kgfのときのほうが吊荷のZ方向の動揺量が大きい。

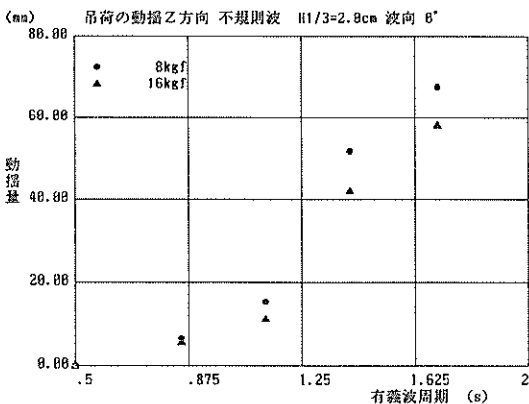


図-3.123 吊荷のZ方向の動揺量
(不規則波 $H_{1/3}=2cm$, 波向90°)

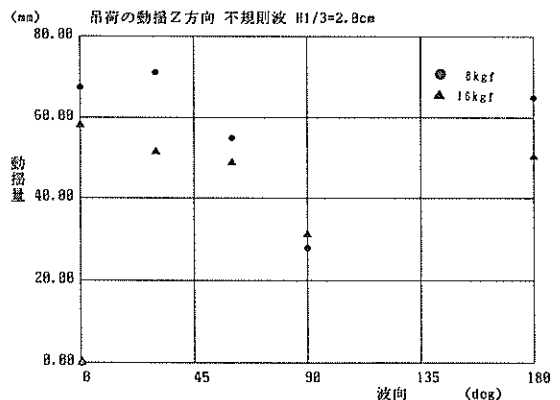
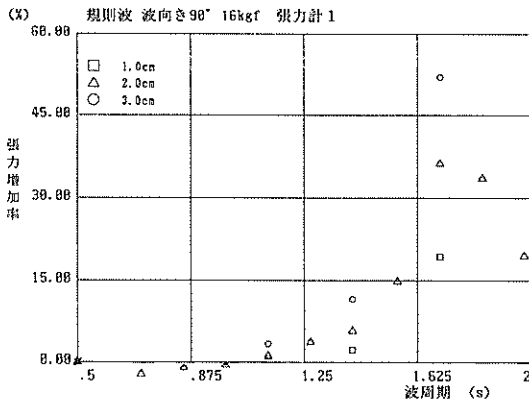
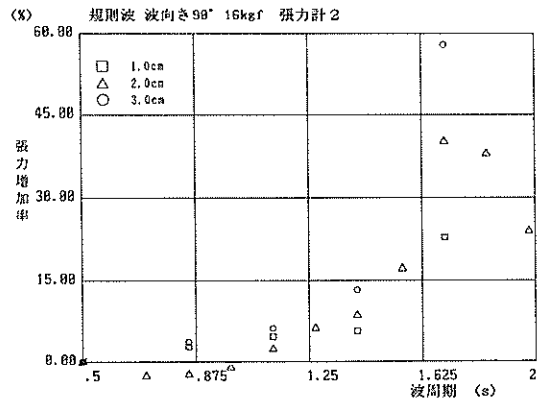


図-3.124 吊荷のZ方向の動揺量
(不規則波 $H_{1/3}=2cm$, 波向90°)



図一3.125 吊荷張力の増加率
(張力計1, 規則波, 波向90°, 16kgf)



図一3.126 吊荷張力の増加率
(張力計2, 規則波, 波向90°, 16kgf)

b. 吊荷張力

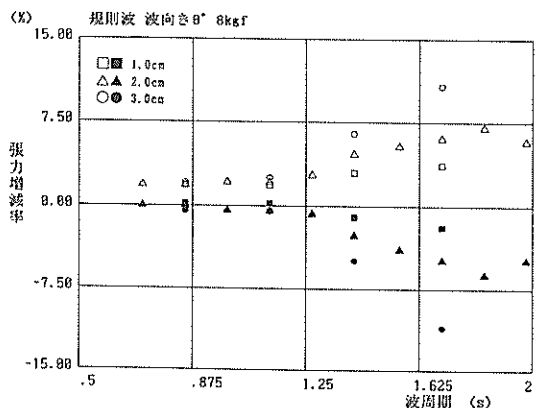
イ) 吊荷張力の増減率の定義

吊荷の荷重は張力計1および2で測定している。ここでは、これらの合計を吊荷張力とする。吊荷の張力の増減は波周期が長くなるにつれて大きくなる。そこで、測定された張力の最大値と吊荷荷重との差を吊荷張力の増減とし、これを吊荷荷重で除して吊荷張力の増減率を求めた。なお、張力計1および2の計測値はとくに波向が60°および90°のようにローリングの動揺が大きくなるときにその差が大きい。これは、この模型では吊荷を2本のワイヤロープで吊っているが、X軸に対して対称になるように配置しているので、ローリングが大きくなって吊荷がX軸に対して左右に動揺すると、吊荷荷重が2本のワイヤロープの内どちらか一方に偏って作用するためである。例えば図一3.125~3.126は吊荷が16kgfで波向90°のときの規則波中の動揺実験における張力計1と2で測定された張力の、吊荷荷重の1/2に対して求めた張力の増加率である。図に示すように張力計1および2の張力は、極端な場合には吊荷荷重の1/2に対して40~60%増しにもなる。つまり、一本のワイヤロープに吊荷荷重の70~80%もの張力が作用することになる。ただし、この模型のワイヤロープの配置ではピッチングによる張力の偏りはない。実機においては吊金具にたくさんのワイヤロープを配して吊荷張力を分散させる方策が取られることと思うが、動揺が大きいたときにはその内の数本のワイヤロープに張力が偏ることがあるので十分留意することが必要である。

吊荷張力の増減率は起重機船の動揺または吊荷の動揺に比例していると考えられる。以下に、吊荷張力の増減率について要約して述べる。

ロ) 吊荷張力の増減率

図一3.127~3.146は規則波中および不規則波中における吊荷張力の増減率を波周期に対して示したものである。波向が0°, 30°, 60°, 90°, 180°, また、吊荷荷重が8kgfおよび16kgfについてとりまとめている。全般的にみて波周期が長いと吊荷張力の増減率が大きい。これは、波周期が長いときに起重機船の動揺が大きいたという傾向と一致する。ただし、波向60°および90°の場合には他の波向に比べて吊荷張力の増減率がやや小さい。これは吊荷張力の増減に最も影響が大きいと考えられるピッチングが波向60°および90°においては他の波向に比べて小さいためである。



図一3.127 吊荷張力の増減率
(規則波, 波向0°, 8kgf)

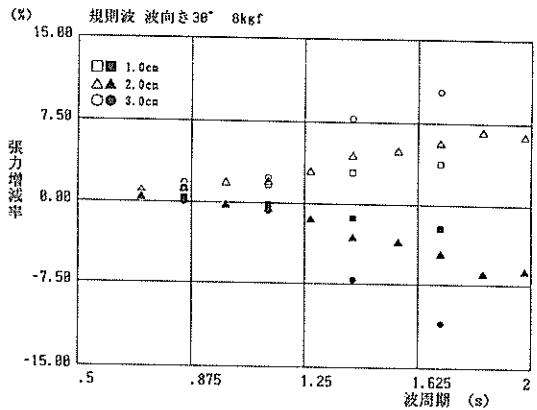


図-3.128 吊荷張力の増減率
(規則波, 波向30°, 8 kgf)

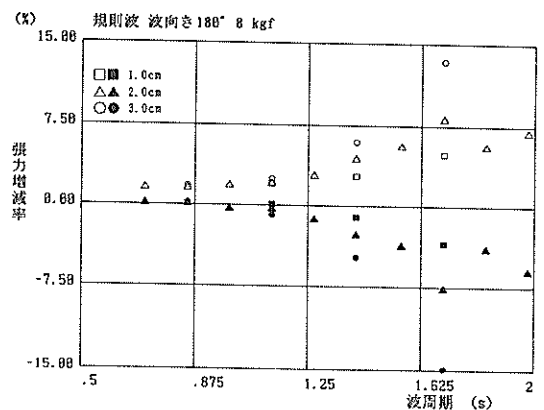


図-3.131 吊荷張力の増減率
(規則波, 波向180°, 8 kgf)

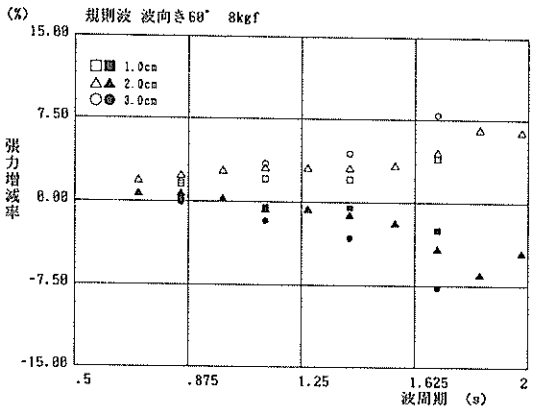


図-3.129 吊荷張力の増減率
(規則波, 波向60°, 8 kgf)

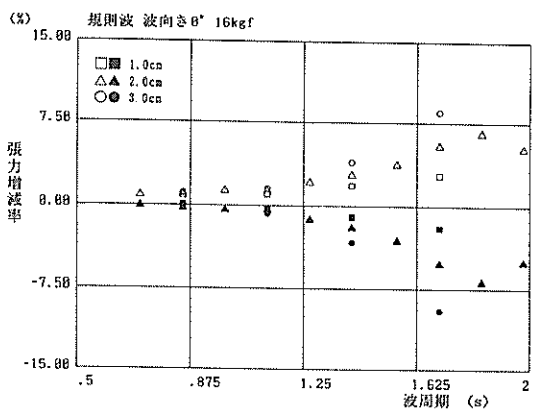


図-3.132 吊荷張力の増減率
(規則波, 波向0°, 16kgf)

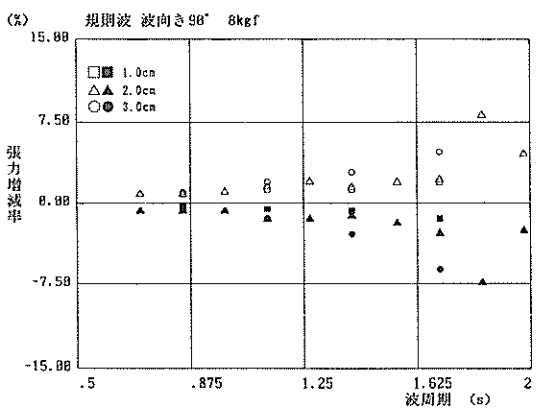


図-3.130 吊荷張力の増減率
(規則波, 波向90°, 8 kgf)

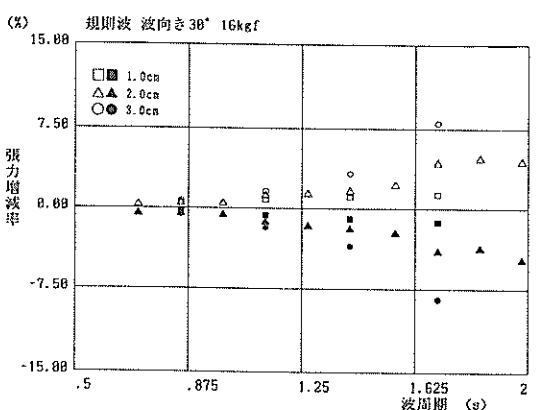


図-3.133 吊荷張力の増減率
(規則波, 波向30°, 16kgf)

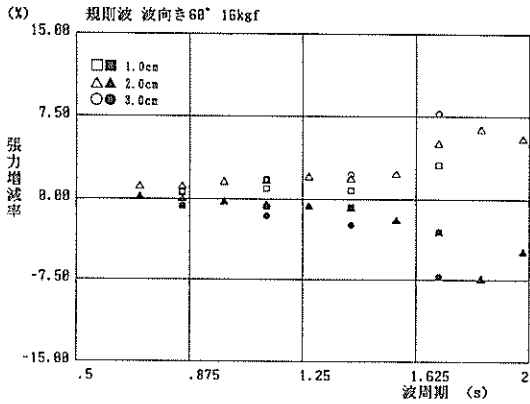


図-3.134 吊荷張力の増減率
(規則波, 波向60°, 16kgf)

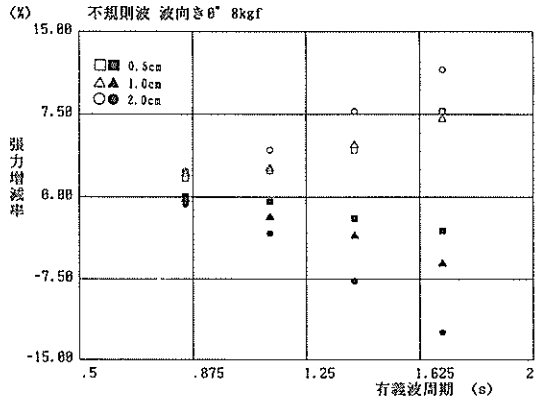


図-3.137 吊荷張力の増減率
(不規則波, 波向0°, 8kgf)

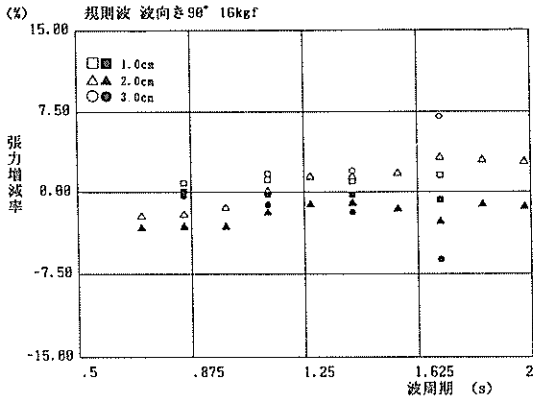


図-3.135 吊荷張力の増減率
(規則波, 波向90°, 16kgf)

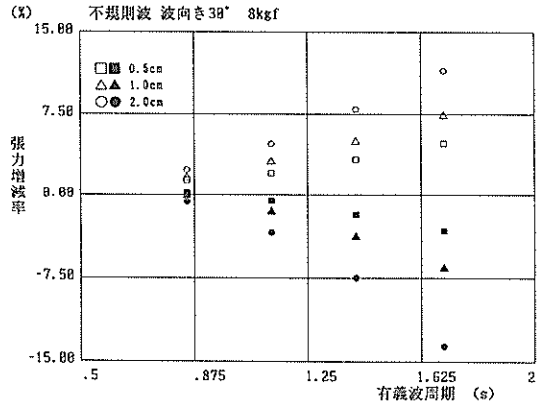


図-3.138 吊荷張力の増減率
(不規則波, 波向30°, 8kgf)

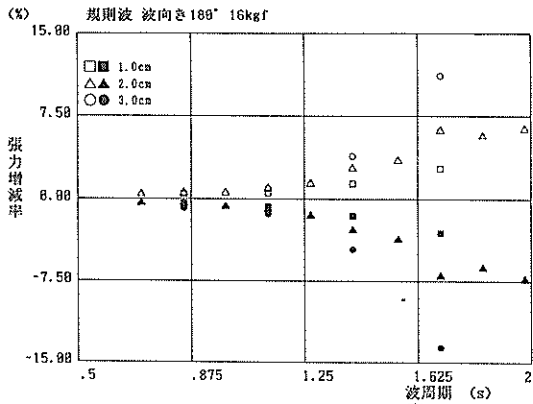


図-3.136 吊荷張力の増減率
(規則波, 波向180°, 16kgf)

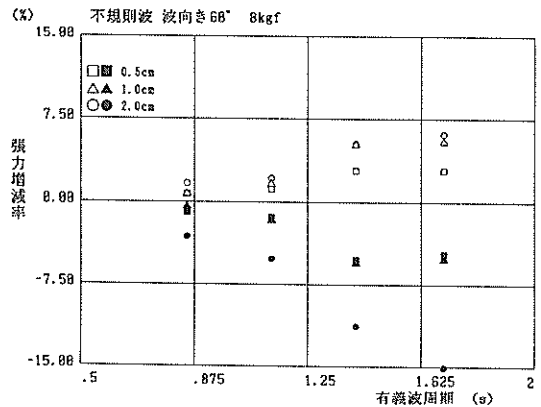


図-3.139 吊荷張力の増減率
(不規則波, 波向60°, 8kgf)

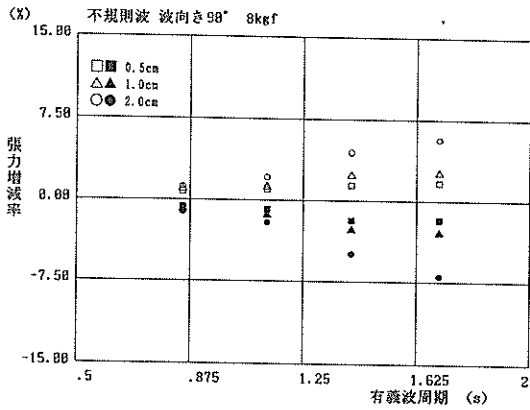


図-3.140 吊荷張力の増減率
(不規則波, 波向90°, 8kgf)

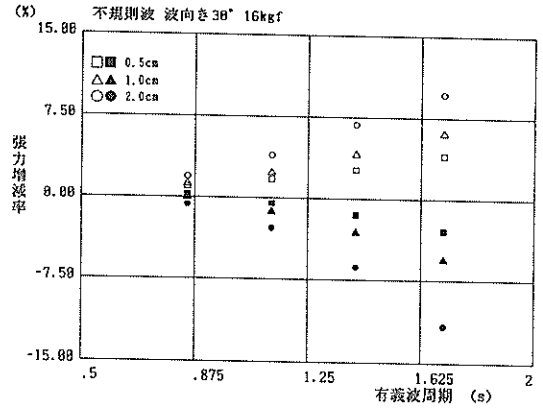


図-3.143 吊荷張力の増減率
(不規則波, 波向30°, 16kgf)

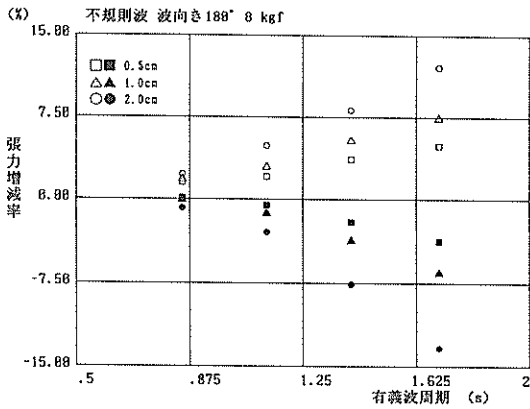


図-3.141 吊荷張力の増減率
(不規則波, 波向180°, 8kgf)

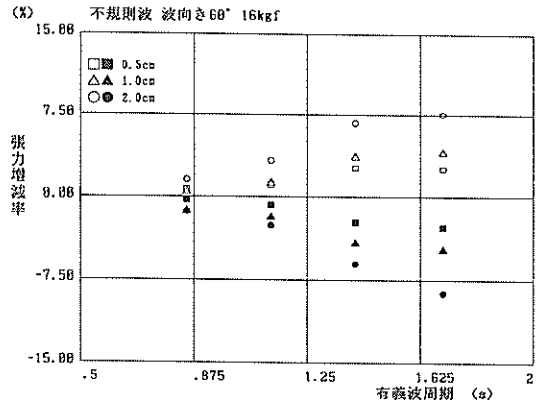


図-3.144 吊荷張力の増減率
(不規則波, 波向60°, 16kgf)

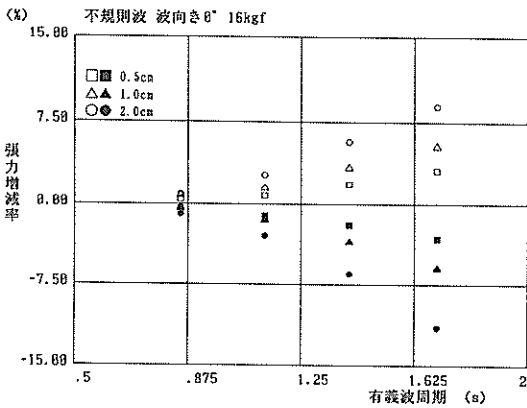


図-3.142 吊荷張力の増減率
(不規則波, 波向0°, 16kgf)

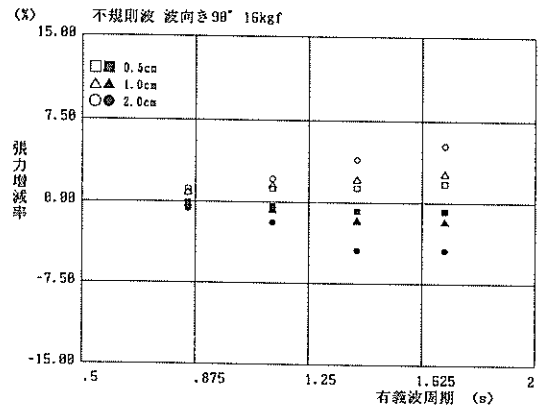


図-3.145 吊荷張力の増減率
(不規則波, 波向90°, 16kgf)

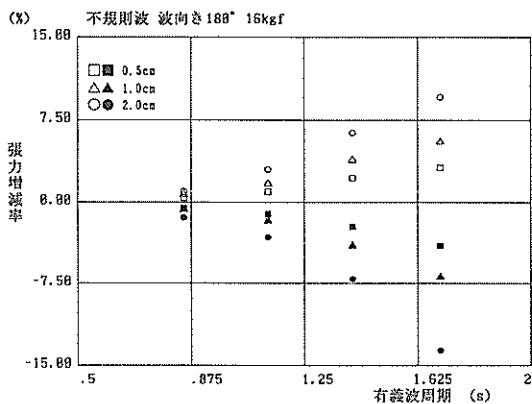


図-3.146 吊荷張力の増減率
(不規則波, 波向180°, 16kgf)

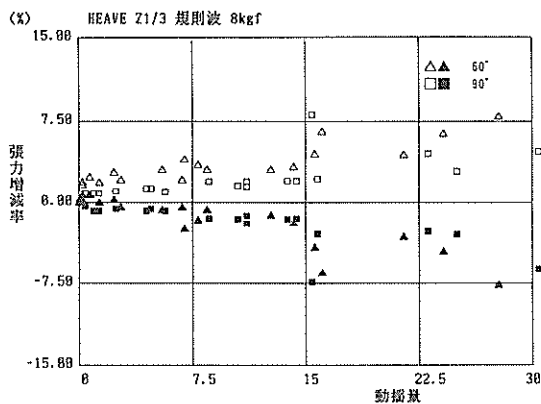


図-3.148 吊荷張力の増減率
(ヒービング, 規則波, 8kgf)

図-3.147~3.158は吊荷の上下動に関する動揺成分との関係を調べるために、吊荷荷重が8kgfおよび16kgfのときの規則波中の実験における、吊荷張力の増減率とヒービング、ローリングおよびピッチングの動揺量との関係を示したものである。これらの図をみると波向に拘らずピッチングの動揺量と吊荷張力の増加率とに相関があることがわかる。ヒービングおよびローリングとの相関もその他の動揺量に比べると大きい、いずれも波向60°および90°においては相関があるがその他の波向に対してはむしろピッチングの影響が大きいと言える。

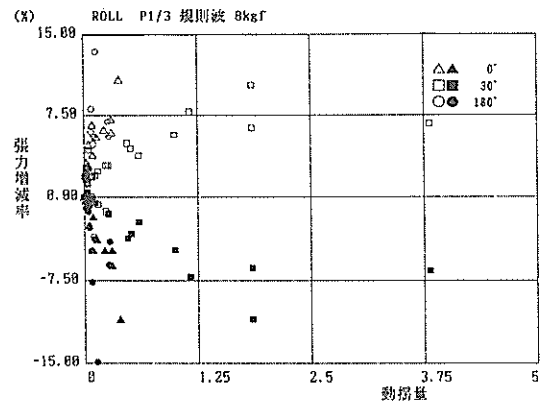


図-3.149 吊荷張力の増減率
(ローリング, 規則波, 8kgf)

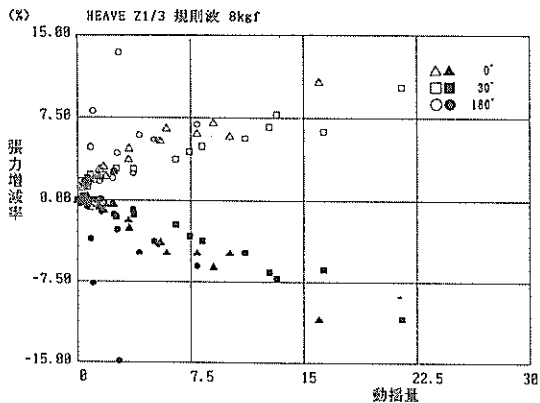


図-3.147 吊荷張力の増減率
(ヒービング, 規則波, 8kgf)

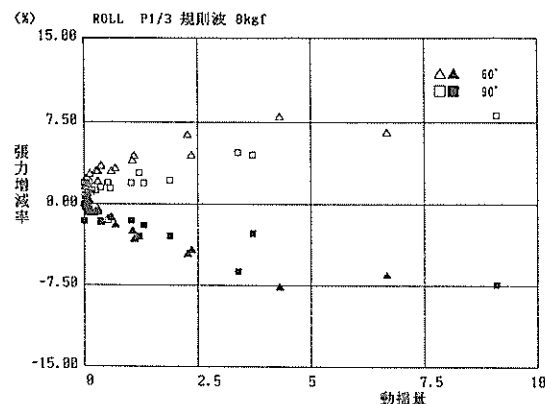


図-3.150 吊荷張力の増減率
(ローリング, 規則波, 8kgf)

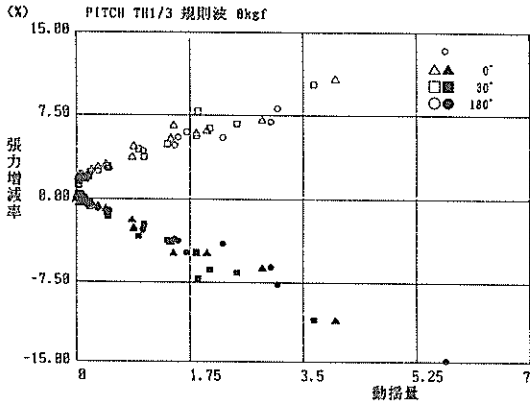


図-3.151 吊荷張力の増減率
(ピッチング, 規則波, 8kgf)

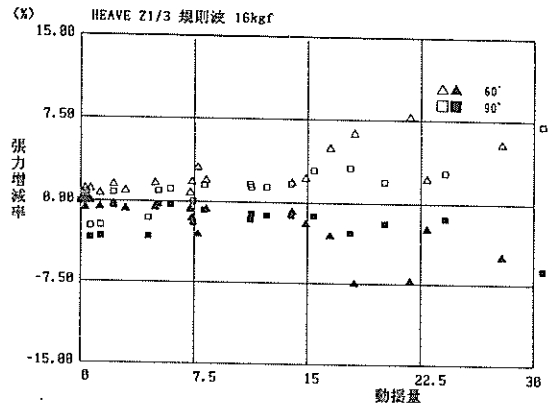


図-3.154 吊荷張力の増減率
(ヒービング, 規則波, 16kgf)

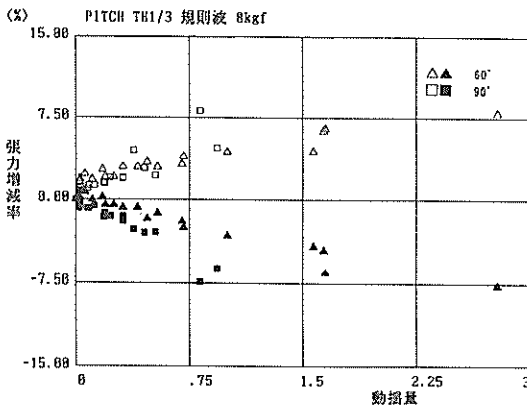


図-3.152 吊荷張力の増減率
(ピッチング, 規則波, 8kgf)

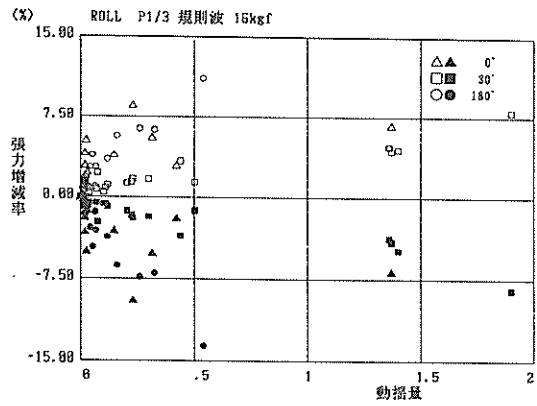


図-3.155 吊荷張力の増減率
(ローリング, 規則波, 16kgf)

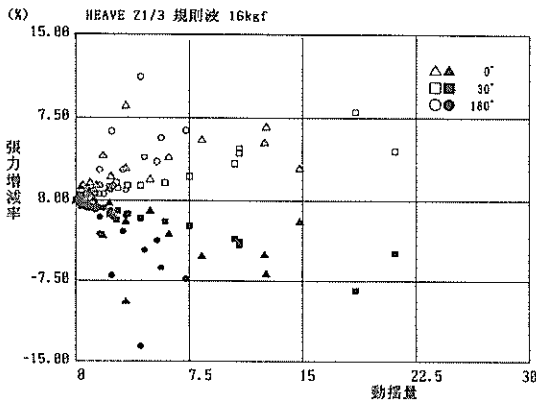


図-3.153 吊荷張力の増減率
(ヒービング, 規則波, 16kgf)

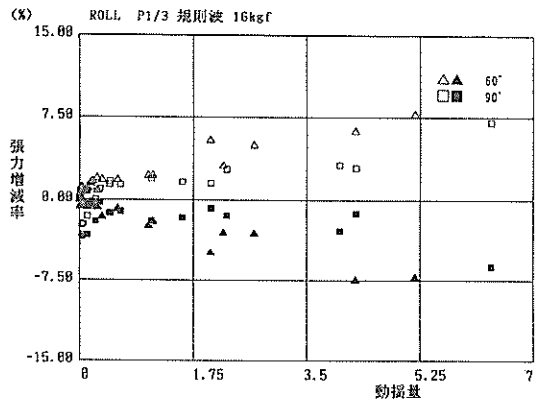


図-3.156 吊荷張力の増減率
(ローリング, 規則波, 16kgf)

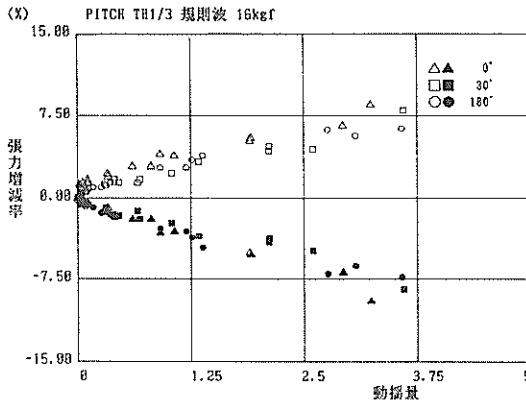


図-3.157 吊荷張力の増減率
(ピッチング, 規則波, 16kgf)

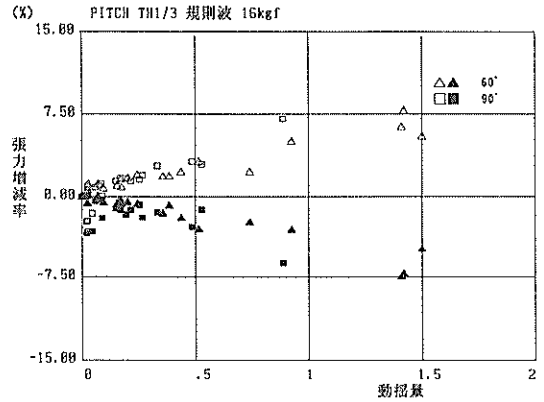


図-3.158 吊荷張力の増減率
(ピッチング, 規則波, 16kgf)

表-3.5 吊荷張力および吊荷張力の増減率

上段：吊荷張力 (kgf)
下段：増減率 (%)

吊荷	周期 波向	0.849 s		1.130 s		1.410 s		1.700 s	
		MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
16 kgf (17.672kgf)	0°	17.8	17.5	18.2	17.2	18.7	16.6	19.3	15.8
		0.6	-1.1	2.8	-2.8	5.6	-6.2	9.0	-10.7
	30°	18.0	17.6	18.4	17.2	18.9	16.6	19.4	15.8
		1.7	-0.6	4.0	-2.8	6.8	-6.2	9.6	-10.7
	60°	17.9	17.4	18.3	17.2	18.9	16.7	19.0	16.3
		1.1	-1.7	3.4	-2.8	6.8	-5.6	7.3	-7.9
	90°	17.9	17.6	18.1	17.3	18.4	16.9	18.6	16.9
		1.1	-0.6	2.3	-2.3	4.0	-4.5	5.1	-4.5
	180°	17.8	17.4	18.2	17.1	18.8	16.5	19.4	15.6
		0.6	-1.7	2.8	-3.4	6.2	-6.8	9.6	-11.9
8 kgf (10.422kgf)	0°	10.7	10.4	10.9	10.1	11.2	9.7	11.6	9.3
		2.9	0.0	4.8	-2.9	7.7	-6.7	11.5	-10.6
	30°	10.7	10.4	10.9	10.1	11.3	9.7	11.6	9.2
		2.9	0.0	4.8	-2.9	8.7	-6.7	11.5	-11.5
	60°	10.6	10.1	10.6	9.9	11.0	9.4	11.1	9.0
		1.9	-2.9	1.9	-4.8	5.8	-9.6	6.7	-13.5
	90°	10.6	10.3	10.6	10.2	10.9	9.9	11.0	9.7
		1.9	-1.0	1.9	-1.9	4.8	-4.8	5.8	-6.7
	180°	10.7	10.3	10.9	10.1	11.3	9.7	11.7	9.2
		2.9	-1.0	4.8	-2.9	8.7	-6.7	12.5	-11.5

()内は吊金具をも含めた荷重

表-3.5は吊荷の張力の最大値および最小値、ならびに張力の増減率を取りまとめたものである。吊荷が16kgf(吊金具等を含めると実際には17.672kgf)および8kgf(吊金具等を含めると実際には10.422kgf)のいずれの場合にも、吊荷張力の増減率は、波向90°のときには他の波向に比べて吊荷張力の増減率は小さい。ただし、波周期が短いと波向による差異は小さい。

表-3.6 係留索の張力

吊荷	周期 波向	0.849s	1.130s	1.410s	1.700s
		0 kgf	0°	0.0166	0.0413
	30°	0.0674	0.143	0.217	0.315
	60°	0.0591	0.180	0.309	0.395
	90°	0.128	0.216	0.308	0.366
	180°	0.0127	0.0329	0.116	0.234
16 kgf	0°	0.0318	0.103	0.165	0.212
	30°	0.0512	0.184	0.294	0.378
	60°	0.195	0.410	0.578	0.733
	90°	0.123	0.227	0.312	0.391
	180°	0.0112	0.0351	0.0773	0.177
8 kgf	0°	0.0057	0.0097	0.0200	0.0379
	30°	0.0591	0.161	0.267	0.344
	60°	0.0752	0.265	0.374	0.444
	90°	0.0927	0.200	0.294	0.366
	180°	0.0126	0.0328	0.101	0.212

6) 係留力

ここでは、有義波高 $H_{1/3}=2.0\text{cm}$ の条件で有義波周期 $T_{1/3}$ を0.849s, 1.13s, 1.41s, 1.70sとして行った実験において、起重機船を係留する4本の係留索の内最大の張力を示したものを各波向ごとに取りまとめ表-3.6に示す。以上に示した張力は模型で0.4kgfから1kgf程度である。実機ではおよそ50tfから125tfに相当する。ただし、これらの張力は周期が長くかつ波高が大きい条件のときのものであるから、これより周期が短いか、または、波高が小さい波浪条件においては、当然これより張力は小さくなる。

一例として、吊荷16kgf, 波向60°, 有義波高 $H_{1/3}=2.0\text{cm}$ の条件で有義波周期 $T_{1/3}$ を0.849s, 1.13s, 1.41s,

1.70sとして行った実験において、起重機船を係留する4本の係留索の張力を図-3.159に図示する。

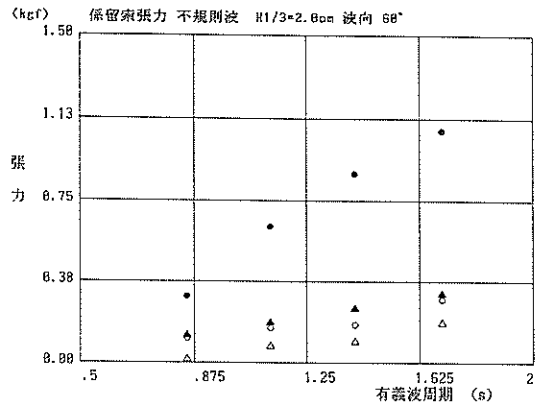


図-3.159 係留索の張力
(不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 波向60°, 16kgf)

7) 模型実験結果と数値シミュレーション結果との比較

a. 概要

本報告書においては、起重機船の稼働限界条件に求めるための資料を作成することを目的としているが、種々の条件に対応するためには数値計算を行ってその結果を用いるのが便利である。そこで、港湾技術研究所の動揺計算プログラムを用いて実験に対応する動揺計算を行い、模型実験結果と比較する。

b. 吊荷の動揺を考慮した動揺シミュレーション法

昭和62年度には、大型起重機船の動揺シミュレーションとして、規則波中および不規則波中における起重機船の動揺計算を行った。しかし、このときには、吊荷の動揺については起重機船の動揺と連成させて解いてはいない。そこで、昭和63年度には、吊荷の動揺を起重機船の動揺と連成させて解き、動揺シミュレーションを行った。ただし、このときには吊荷の動揺による張力の変動が起重機船の動揺に及ぼす影響は考慮しなかった。しかしながら、模型実験を行った結果、とくに長周期波に対して吊荷の動揺が著しく大きくなり、吊荷の動揺と起重機船の動揺が相互に及ぼす影響を考慮する必要があると判断されたので、張力の変動を外力とみなしこれがシーブブロック点に作用するものとして計算を行った。動揺シミュレーションの方法の詳細は参考文献に記述しているので、本報告書においては起重機船の動揺と吊荷の動揺との連成方程式およびこの数値積分法について記述する。また、この方法に従って行った不規則波中の動揺シミュレーションの結果を示す。

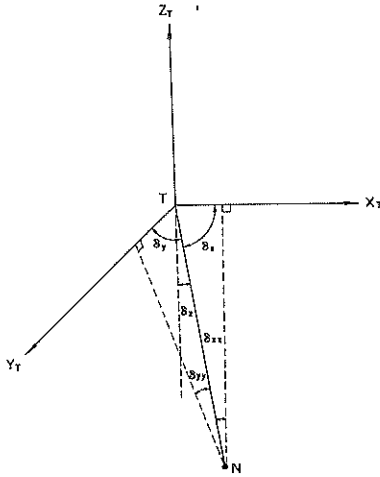


図-3.160 $\delta_x, \delta_y, \delta_z$ の定義

c. 計算式

いま、図-3.160のように、起重機船の重心の座標を (X_G, Y_G, Z_G) 、船体重心は X_G, Y_G, Z_G なる並進運動と、 ϕ, θ, ψ なる回転運動をするものとする。また、起重機船のシャースのシーブブロック点をTとし、その座標を (X_T, Y_T, Z_T) と表す。また、吊荷の重心をNとし、その座標を (X_N, Y_N, Z_N) とする。吊荷はシーブブロック点Tから長さLのスリングで結ばれているものとする。吊荷の運動は図-3.160に示されるように、T点とN点を結ぶスリングがT点に固定された直交座標の X_T 軸、 Y_T 軸および Z_T 軸と、それぞれ $\delta_x, \delta_y, \delta_z$ なる角度をなすものとする。ここで定義した角度は線分 \overline{TN} と X_T 軸、 Y_T 軸および Z_T 軸とのなす角度であるから、 \overline{TN} が Z_T 軸と一致するときには吊荷の X_T - Y_T 面内における変位がないものと考えることができるので、 $\delta_x \doteq \delta_y \doteq 90^\circ$ になる。また、 $\delta_z \doteq 0^\circ$ である(図-3.160)。ただし、解析に当たっては、 $\delta_{xx} = \pi/2 - \delta_x$ 、 $\delta_{yy} = \pi/2 - \delta_y$ として行なう。なお、吊荷の質量は m とする。

上記の定義から線分 \overline{TN} の方向余弦から、 $\delta_x, \delta_y, \delta_z$ と X_T, Y_T, Z_T および X_N, Y_N, Z_N との関係は以下のとおりである。

$$\cos \delta_x = \sin \delta_{xx} = -\frac{X_T - X_N}{L} \quad (1)$$

$$\cos \delta_y = \sin \delta_{yy} = -\frac{Y_T - Y_N}{L} \quad (2)$$

$$\cos \delta_z = -\frac{Z_T - Z_N}{L} \quad (3)$$

ただし、

$$\cos^2 \delta_x + \cos^2 \delta_y + \cos^2 \delta_z = \sin^2 \delta_{xx} + \sin^2 \delta_{yy} + \cos^2 \delta_z = 1 \quad (4)$$

である。したがって、

$$\cos \delta_z = \pm \sqrt{1 - \sin^2 \delta_{xx} - \sin^2 \delta_{yy}} \quad (5)$$

となる。ただし、 $90^\circ \leq \delta_z \leq 180^\circ$ であるから、

$$\cos \delta_z = -\sqrt{1 - \sin^2 \delta_{xx} - \sin^2 \delta_{yy}} \quad (6)$$

式(1),(2),(3),(4)を変形し、以下の式を得る。

$$X_T = -L \sin \delta_{xx} + X_N \quad (7)$$

$$Y_T = -L \sin \delta_{yy} + Y_N \quad (8)$$

$$Z_T = L \sqrt{1 - \sin^2 \delta_{xx} - \sin^2 \delta_{yy}} + Z_N \quad (9)$$

また、張力と慣性力との関係は以下のようになる。

$$m X_N = -T \sin \delta_{xx} \quad (10)$$

$$m Y_N = -T \sin \delta_{yy} \quad (11)$$

$$m Z_N = T \sqrt{1 - \sin^2 \delta_{xx} - \sin^2 \delta_{yy}} - m g \quad (12)$$

式(10),(11),(12)を微分して以下の式を得る。

$$\dot{X}_T = -L \cos \delta_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} + \dot{X}_N \quad (13)$$

$$\dot{Y}_T = -L \cos \delta_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy} + \dot{Y}_N \quad (14)$$

$$\dot{Z}_T = -\frac{L}{\sqrt{1 - \sin^2 \delta_{xx} - \sin^2 \delta_{yy}}} \times (\sin \delta_{xx} \cdot \cos \delta_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} + \sin \delta_{yy} \cdot \cos \delta_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy}) + \dot{Z}_N \quad (15)$$

また、式(13),(14),(15)を微分して以下の式を得る。

$$\ddot{X}_T = -L (-\sin \delta_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} \cdot \delta_{xx} + \cos \delta_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx}) + \ddot{X}_N \quad (16)$$

$$\ddot{Y}_T = -L (-\sin \delta_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy} \cdot \delta_{yy} + \cos \delta_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy}) + \ddot{Y}_N \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \ddot{Z}_T = & -\frac{L}{\sqrt{(1 - \sin^2 \delta_{xx} - \sin^2 \delta_{yy})^3}} \\ & \times (\sin \delta_{xx} \cdot \cos \delta_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} + \sin \delta_{yy} \cdot \cos \delta_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy})^2 \\ & - \frac{L}{\sqrt{1 - \sin^2 \delta_{xx} - \sin^2 \delta_{yy}}} \\ & \times (\cos^2 \delta_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} - \sin^2 \delta_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} \\ & + \dot{\delta}_{xx} \cdot \sin \delta_{xx} \cdot \cos \delta_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} + \cos^2 \delta_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy} \\ & + \dot{\delta}_{yy} \cdot \sin \delta_{yy} \cdot \cos \delta_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy} - \sin^2 \delta_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy} \\ & + \sin \delta_{yy} \cdot \cos \delta_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy}) + \ddot{Z}_N \end{aligned} \quad (18)$$

さらに、式(16),(17),(18)を(10),(11),(12)に代入し、以下の式を得る。

$$m \ddot{X}_T = -m L (-\sin \delta_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} + \cos \delta_{xx} \cdot \ddot{\delta}_{xx}) - T \sin \delta_{xx} \quad (19)$$

$$m \ddot{Y}_T = -m L (-\sin \delta_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy} + \cos \delta_{yy} \cdot \ddot{\delta}_{yy}) - T \sin \delta_{yy} \quad (20)$$

$$m \ddot{Z}_T = -\frac{m L}{\sqrt{(1-\sin^2 \delta_{xx} - \sin^2 \delta_{yy})^3}} \times (\sin \delta_{xx} \cdot \cos \delta_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} + \sin \delta_{yy} \cdot \cos \delta_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy})^2 - \frac{m L}{\sqrt{1-\sin^2 \delta_{xx} - \sin^2 \delta_{yy}}} \times (\cos^2 \delta_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} - \sin^2 \delta_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} + \sin \delta_{xx} \cdot \cos \delta_{xx} \cdot \ddot{\delta}_{xx} + \cos^2 \delta_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy} - \sin^2 \delta_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy} + \sin \delta_{yy} \cdot \cos \delta_{yy} \cdot \ddot{\delta}_{yy}) + T \sqrt{1-\sin^2 \delta_{xx} - \sin^2 \delta_{yy}} - m g \quad (21)$$

ここで、

$$\text{式(19)} \times \sin \delta_{xx} + \text{式(20)} \times \sin \delta_{yy} - \text{式(21)} \times \sqrt{1-\sin^2 \delta_{xx} - \sin^2 \delta_{yy}}$$

を行って、辺辺を整理して δ_{xx} および δ_{yy} を消去する。

$$m \ddot{X}_T \sin \delta_{xx} + m \ddot{Y}_T \sin \delta_{yy} - m \ddot{Z}_T \sqrt{1-\sin^2 \delta_{xx} - \sin^2 \delta_{yy}} = \frac{m L}{\sqrt{1-\sin^2 \delta_{xx} - \sin^2 \delta_{yy}}} \times (\sin \delta_{xx} \cdot \cos \delta_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} + \sin \delta_{yy} \cdot \cos \delta_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy})^2 + m L (\cos^2 \delta_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} + \cos^2 \delta_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy}) - T + m g \sqrt{1-\sin^2 \delta_{xx} - \sin^2 \delta_{yy}} \quad (22)$$

式(22)より、Tを表す式が得られる。

$$T = -m \ddot{X}_T \sin \delta_{xx} - m \ddot{Y}_T \sin \delta_{yy} + m \ddot{Z}_T \sqrt{1-\sin^2 \delta_{xx} - \sin^2 \delta_{yy}} + \frac{m L}{\sqrt{1-\sin^2 \delta_{xx} - \sin^2 \delta_{yy}}}$$

$$\times (\sin \delta_{xx} \cdot \cos \delta_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} + \sin \delta_{yy} \cdot \cos \delta_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy})^2 + m L (\cos^2 \delta_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} + \cos^2 \delta_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy}) + m g \sqrt{1-\sin^2 \delta_{xx} - \sin^2 \delta_{yy}} \quad (23)$$

式(23)を式(19)および式(20)に代入し、以下の式を得る。

$$m L \cos \delta_{xx} \cdot \ddot{\delta}_{xx} = m L \sin \delta_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} - m \ddot{X}_T - T \sin \delta_{xx} \quad (24)$$

$$m L \cos \delta_{yy} \cdot \ddot{\delta}_{yy} = m L \sin \delta_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy} - m \ddot{Y}_T - T \sin \delta_{yy} \quad (25)$$

δ_{xx} , δ_{yy} , Tを求めるには式(23)~(25)を連立させて解けばよい。

本報告書においては式(23)~(25)を解いて解を求めているが、吊荷の動揺が小さいものとする、 $\delta_{xx} \doteq \delta_{yy} \doteq 0$ とすることができるので、

$$\sin \delta_{xx} \doteq \delta_{xx} \quad (26)$$

$$\sin \delta_{yy} \doteq \delta_{yy} \quad (27)$$

$$\cos \delta_{xx} \doteq 1 \quad (28)$$

$$\cos \delta_{yy} \doteq 1 \quad (29)$$

として、式(26)~(29)を式(23)~(25)に代入する。

$$T = -m \ddot{X}_T \cdot \delta_{xx} - m \ddot{Y}_T \cdot \delta_{yy} + m \ddot{Z}_T \sqrt{1-\delta_{xx}^2 - \delta_{yy}^2} - m L (\delta_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} + \delta_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy})^2 / \sqrt{1-\delta_{xx}^2 - \delta_{yy}^2} - m L (\delta_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} + \delta_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy}) + m g \sqrt{1-\delta_{xx}^2 - \delta_{yy}^2} \quad (30)$$

$$m L \cdot \ddot{\delta}_{xx} = m L \cdot \delta_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} \cdot \dot{\delta}_{xx} + m \ddot{X}_T - T \cdot \delta_{xx} \quad (31)$$

$$m L \cdot \ddot{\delta}_{yy} = m L \cdot \delta_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy} \cdot \dot{\delta}_{yy} + m \ddot{Y}_T - T \cdot \delta_{yy} \quad (32)$$

ここで高次項を省略し、Tの近似式を得る。

$$T = -m \ddot{X}_T \cdot \delta_{xx} - m \ddot{Y}_T \cdot \delta_{yy} - m \ddot{Z}_T + m g \quad (33)$$

式(32)を式(30)および(31)に代入し、 δ_{xx} および δ_{yy} に関する連立方程式を得る。

$$m L \cdot \ddot{\delta}_{xx} = m \ddot{X}_T - T \cdot \delta_{xx} = m \ddot{X}_T + (m \ddot{Z}_T - m g) \cdot \delta_{xx} \quad (34)$$

$$m L \cdot \ddot{\delta}_{yy} = m \ddot{Y}_T - T \cdot \delta_{yy} = m \ddot{Y}_T + (m \ddot{Z}_T - m g) \cdot \delta_{yy} \quad (35)$$

式(33)および(34)において起重機船の動揺がないとすると、 $X_T = Y_T = Z_T = 0$ であるから、これらの両式は単振子の式になって、固有周期は式(35)で計算される。

$$T_0 = 2\pi \sqrt{L/g} \quad (36)$$

式(23)~(25)を解くに当たっては、シーブブロック点の変位 (X_T, Y_T, Z_T) と起重機船の重心の並進運動 (X_G, Y_G, Z_G) と回転運動 ϕ, θ, ψ との関係を知る必要がある。高次項を省略して結果のみを示す。

$$\begin{pmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -\phi & \theta \\ \phi & 1 & -\psi \\ -\theta & \psi & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{pmatrix} \quad (37)$$

また、加速度は以下のように表される。

$$\begin{pmatrix} \ddot{X}_T \\ \ddot{Y}_T \\ \ddot{Z}_T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -\ddot{\phi} & \ddot{\theta} \\ \ddot{\phi} & 0 & -\ddot{\psi} \\ -\ddot{\theta} & \ddot{\psi} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \ddot{X}_G \\ \ddot{Y}_G \\ \ddot{Z}_G \end{pmatrix} \quad (38)$$

つぎに、シーブブロック点の起重機船の重心に対する相対変位 (X_{TG}, Y_{TG}, Z_{TG}) は式(37)から、以下のように表される。

$$\begin{pmatrix} X_{TG} \\ Y_{TG} \\ Z_{TG} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -\phi & \theta \\ \phi & 1 & -\psi \\ -\theta & \psi & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_x \\ r_y \\ r_z \end{pmatrix} \quad (39)$$

したがって、吊荷の動揺によって起重機船に作用する荷重は以下の諸式で与えられる。

$$\begin{aligned} T_x &= T \cdot \sin \delta_{xx} \\ T_y &= T \cdot \sin \delta_{yy} \\ T_z &= -(T - mg \sqrt{1 - \delta_{xx}^2 - \delta_{yy}^2}) \\ &\quad \times \sqrt{1 - \delta_{xx}^2 - \delta_{yy}^2} \end{aligned} \quad (40)$$

$$\begin{aligned} M_x &= \begin{vmatrix} 0 & -Z_{TG} & Y_{TG} \\ Z_{TG} & 0 & -X_{TG} \\ X_{TG} & Y_{TG} & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{vmatrix} \\ M_y &= \begin{vmatrix} 0 & -Z_{TG} & Y_{TG} \\ Z_{TG} & 0 & -X_{TG} \\ X_{TG} & Y_{TG} & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{vmatrix} \\ M_z &= \begin{vmatrix} 0 & -Z_{TG} & Y_{TG} \\ Z_{TG} & 0 & -X_{TG} \\ X_{TG} & Y_{TG} & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{vmatrix} \end{aligned} \quad (41)$$

ただし、 T_z において張力 T から $mg\sqrt{1 - \delta_{xx}^2 - \delta_{yy}^2}$ を差引いているのは、この実験では、起重機船の喫水調整および慣性モーメントの計算などを吊荷を吊った状態

で行っているため、これを差引かないと鉛直荷重およびモーメントを二重に掛けることになるためである。

また、吊荷の動揺量は式(7)、(8)、(9)より以下のように入えられる。

$$X_N = -X_T + L \sin \delta_{xx} \quad (42)$$

$$Y_N = -Y_T + L \sin \delta_{yy} \quad (43)$$

$$Z_N = Z_T - L \sqrt{1 - \sin^2 \delta_{xx} - \sin^2 \delta_{yy}} \quad (44)$$

d. 逐次数値積分法

2階連立常微分方程式を逐次数値積分法で解く場合以下の手順による。

$$\delta_{xx} = y_1$$

$$\frac{d y_1}{d t} = y_2$$

$$\delta_{yy} = y_3$$

$$\frac{d y_3}{d t} = y_4 \quad (45)$$

式(37)、(38)および(45)を用いて式(23)~式(24)を書換えると以下ようになる。

$$f_1 = y_2 \quad (46)$$

$$f_2 = \dot{y}_2 = \frac{|y_2 \cdot y_2 \cdot \sin y_1 - \frac{\ddot{X}_T}{L} - \frac{T \cdot \sin y_1}{mL}|}{\cos y_1} \quad (47)$$

$$f_3 = y_4 \quad (48)$$

$$f_4 = \dot{y}_4 = \frac{|y_4 \cdot y_4 \cdot \sin y_3 - \frac{\ddot{Y}_T}{L} - \frac{T \cdot \sin y_3}{mL}|}{\cos y_3} \quad (49)$$

$$\begin{aligned} T &= m \left[-\ddot{X}_T \cdot \sin y_1 - \ddot{Y}_T \cdot \sin y_3 + \ddot{Z}_T \cdot \sqrt{1 - \sin^2 y_1 - \sin^2 y_3} \right. \\ &\quad \left. + \frac{L (y_2 \cdot \sin y_1 \cdot \cos y_1 + y_4 \cdot \sin y_3 \cdot \cos y_3)^2}{\sqrt{1 - \sin^2 y_1 - \sin^2 y_3}} \right. \\ &\quad \left. + L \{ (y_2 \cdot \cos y_1)^2 + (y_4 \cdot \cos y_3)^2 \} \right. \\ &\quad \left. + g \sqrt{1 - \sin^2 y_1 - \sin^2 y_3} \right] \quad (50) \end{aligned}$$

以上の式をルンゲ・クッタ法で解く。ルンゲ・クッタ法

ではステップjの値 ($t_j, y_{1,j}, y_{2,j}, y_{3,j}, y_{4,j}$)
を知って、ステップj+1の値 ($t_{j+1}, y_{1,j+1}, y_{2,j+1},$
 $y_{3,j+1}, y_{4,j+1}$)を以下の手順で求める。

$$A_{ij} = \Delta t \cdot f_i(t_j, y_{1,j}, y_{2,j}, y_{3,j}, y_{4,j}) \quad (51)$$

$$y_{ij}^{(1)} = y_{ij} + \frac{1}{2} A_{ij} \quad (52)$$

$$B_{ij} = \Delta t \cdot f_i(t_j + \frac{1}{2} \Delta t, y_{1,j}^{(1)}, y_{2,j}^{(1)}, y_{3,j}^{(1)}, y_{4,j}^{(1)}) \quad (53)$$

$$y_{ij}^{(2)} = y_{ij}^{(1)} + \frac{1}{2} B_{ij} \quad (54)$$

$$C_{ij} = \Delta t \cdot f_i(t_j + \frac{1}{2} \Delta t, y_{1,j}^{(2)}, y_{2,j}^{(2)}, y_{3,j}^{(2)}, y_{4,j}^{(2)}) \quad (55)$$

$$y_{ij}^{(3)} = y_{ij}^{(2)} + C_{ij} \quad (56)$$

$$D_{ij} = \Delta t \cdot f_i(t_j + \Delta t, y_{1,j}^{(3)}, y_{2,j}^{(3)}, y_{3,j}^{(3)}, y_{4,j}^{(3)}) \quad (57)$$

$$R_{ij}^{(4)} = \frac{1}{6} (A_{ij} + 2B_{ij} + 2C_{ij} + D_{ij}) \quad (58)$$

$$y_{i,j+1} = y_{ij} + R_{ij}^{(4)} \quad (59)$$

e. 計算結果と実験値との比較

図-3.161~3.196は、有義波高 $H_{1/3}=2.0\text{cm}$ の不規則
に対する数値シミュレーション結果と実験結果とを対比
して示したものである。波向 $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ および 180° 、
また、吊荷荷重 $0\text{ kgf}, 8\text{ kgf}$ および 16 kgf についてとり
まとめている。これらの結果をみるとサージングおよび
ヨウイングについて実験値と計算値とが一致しないもの
があるが、その他の動揺成分については実験値と計算値
とは比較的よく合っている。また、波周期が長いときに
いずれかの動揺成分の値が大きくなっているような場合
には、計算値と実験値との対応は良くない。このよう
なときには、例えば波向が 0° とすると、現在の数値シ
ミュレーション計算ではローリングやヨウイングなどの荷重
が生じないので、これらの成分の動揺はほとんど零であ
るが、実験においては係留索などの非対称性からこれら
の成分の動揺も生じる。この点は現在の数値シミュレ
ーション手法では再現できないところであるので、のちに
示す大型起重機船に対する数値シミュレーション結果を
現地において適用する場合には、波向についてはたとえ
ば $\pm 15^\circ$ 程度の分散角を考慮する必要がある。

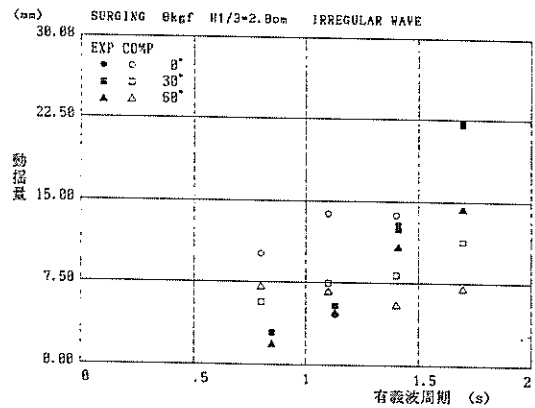


図-3.161 計算値と実験値の比較
(サージング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 吊荷なし)

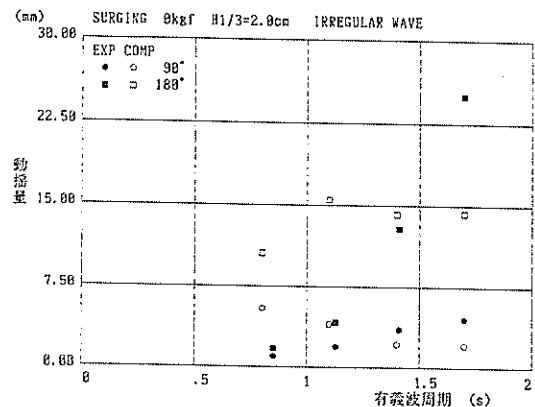


図-3.162 計算値と実験値の比較
(サージング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 吊荷なし)

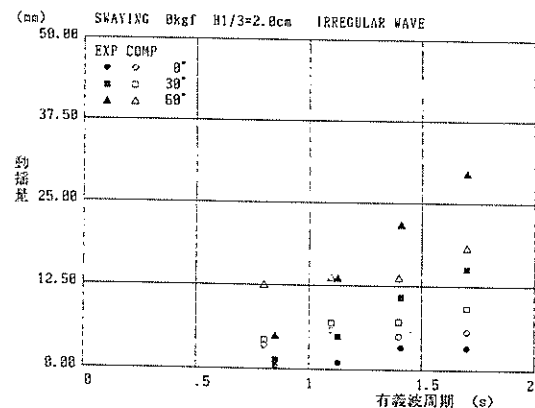


図-3.163 計算値と実験値の比較
(スウェイング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 吊荷なし)

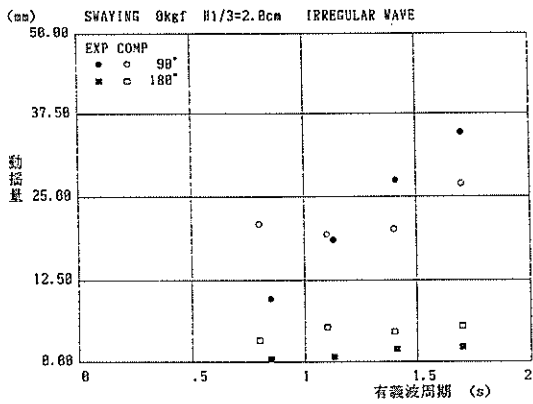


図-3.164 計算値と実験値の比較
 (スウェイング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 吊荷なし)

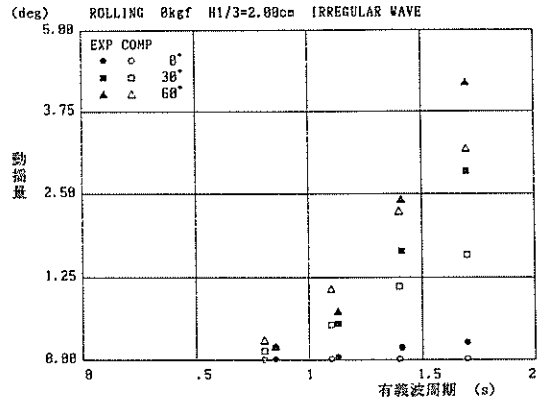


図-3.167 計算値と実験値の比較
 (ローリング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 吊荷なし)

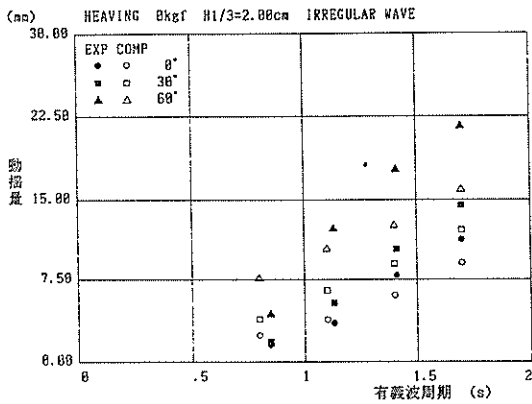


図-3.165 計算値と実験値の比較
 (ヒービング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 吊荷なし)

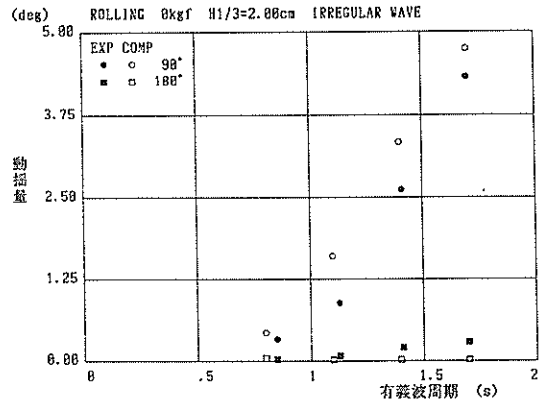


図-3.168 計算値と実験値の比較
 (ローリング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 吊荷なし)

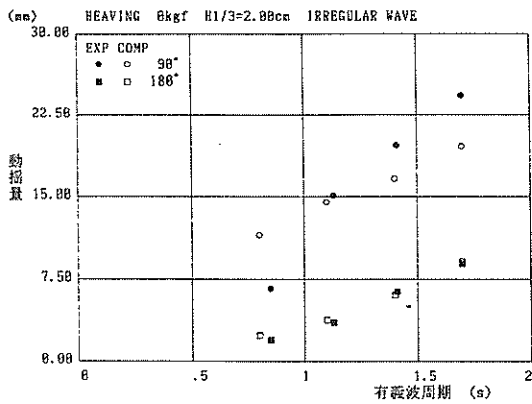


図-3.166 計算値と実験値の比較
 (ヒービング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 吊荷なし)

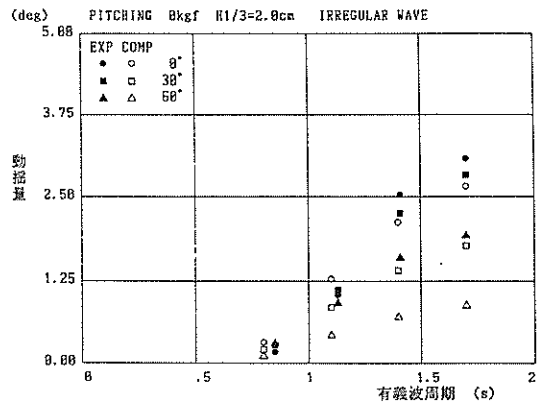


図-3.169 計算値と実験値の比較
 (ピッチング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 吊荷なし)

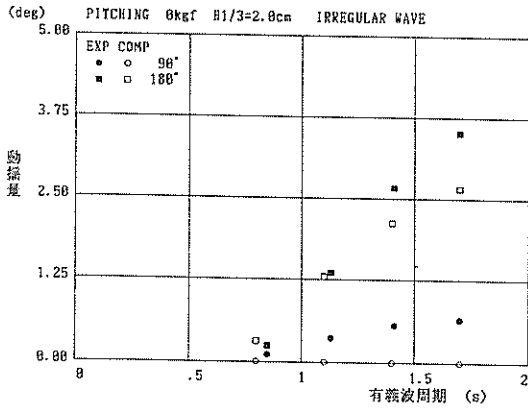


図-3.170 計算値と実験値の比較
(ピッチング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 吊荷なし)

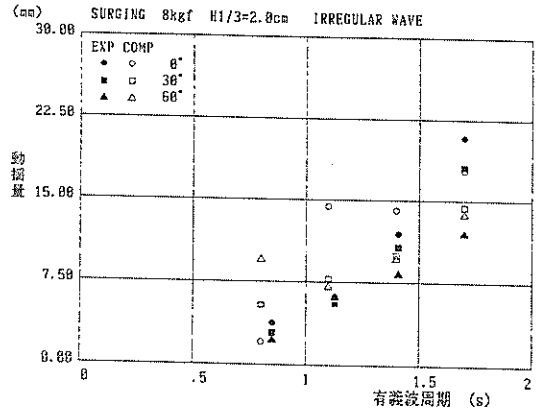


図-3.173 計算値と実験値の比較
(サージング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 8 kgf)

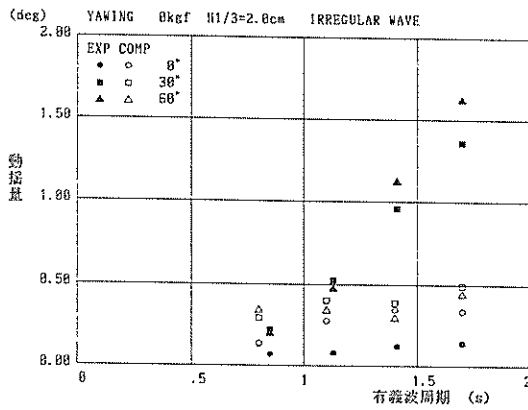


図-3.171 計算値と実験値の比較
(ヨウイング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 吊荷なし)

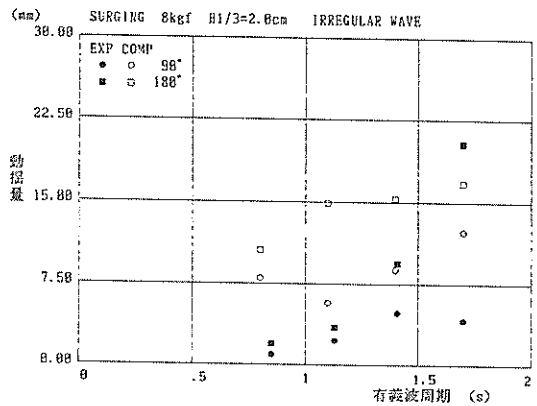


図-3.174 計算値と実験値の比較
(サージング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 8 kgf)

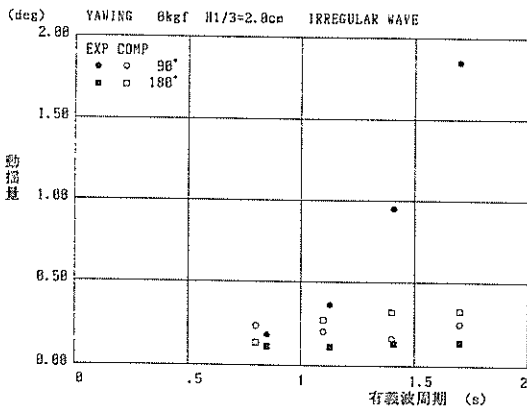


図-3.172 計算値と実験値の比較
(ヨウイング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 吊荷なし)

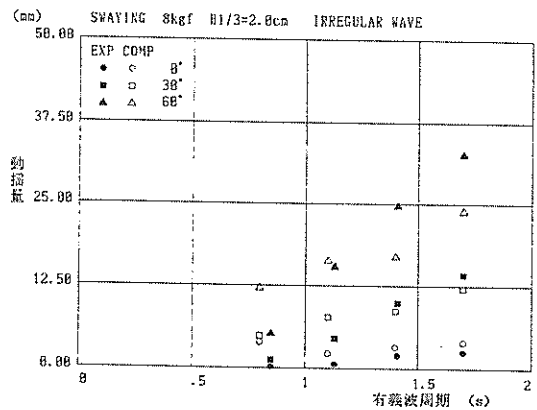


図-3.175 計算値と実験値の比較
(スウェイング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 8 kgf)

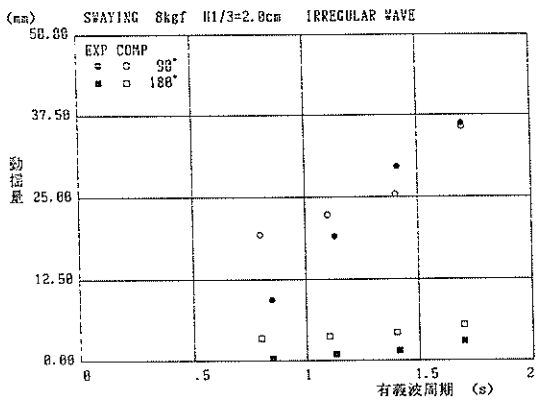


図-3.176 計算値と実験値の比較
(スウェイング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 8 kgf)

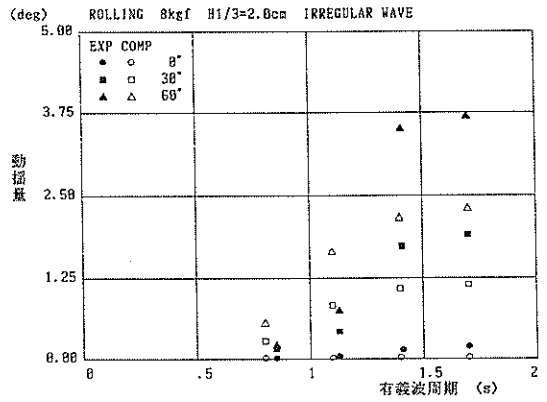


図-3.179 計算値と実験値の比較
(ローリング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 8 kgf)

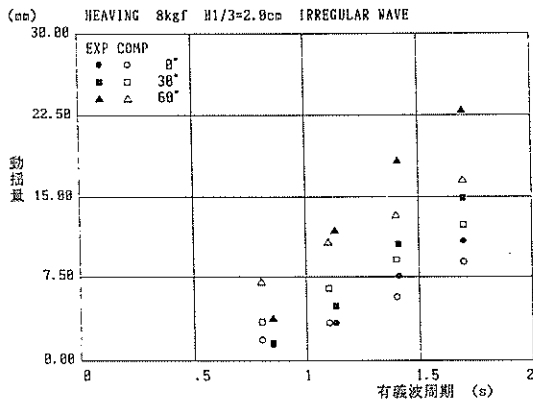


図-3.177 計算値と実験値の比較
(ヒービング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 8 kgf)

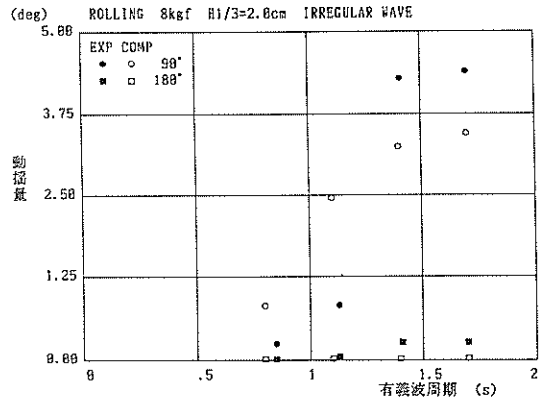


図-3.180 計算値と実験値の比較
(ローリング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 8 kgf)

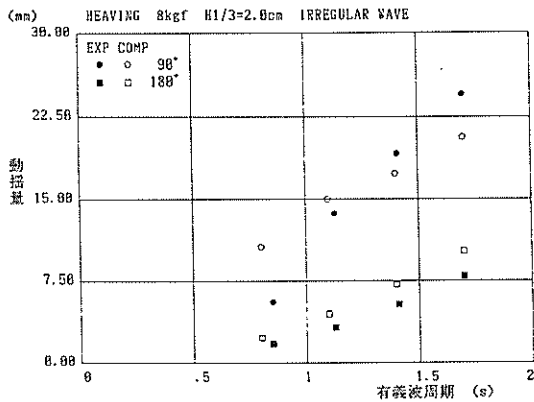


図-3.178 計算値と実験値の比較
(ヒービング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 8 kgf)

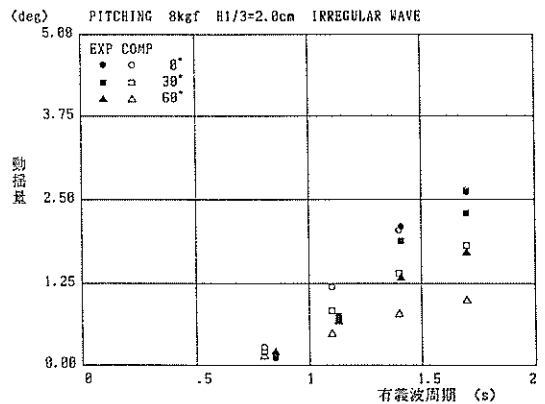


図-3.181 計算値と実験値の比較
(ピッチング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 8 kgf)

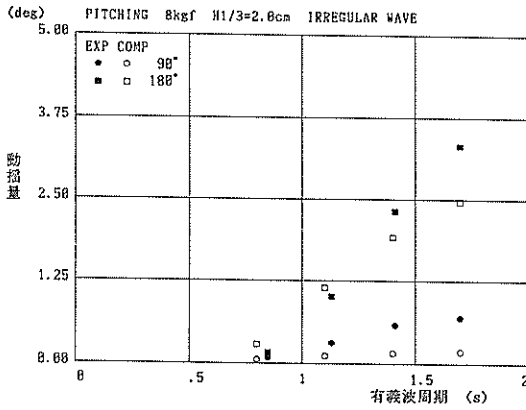


図-3.182 計算値と実験値の比較
 (ピッチング, 不規則波H1/3=2cm, 8 kgf)

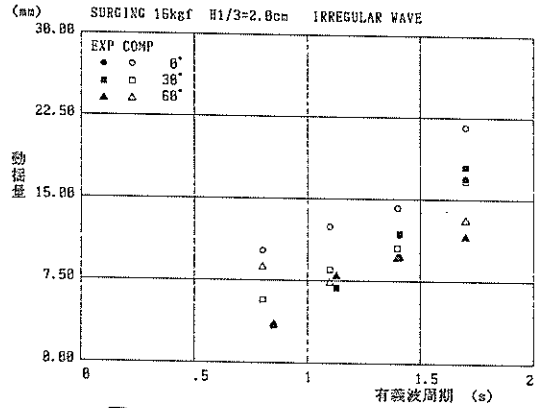


図-3.185 計算値と実験値の比較
 (サージング, 不規則波H1/3=2cm, 16kgf)

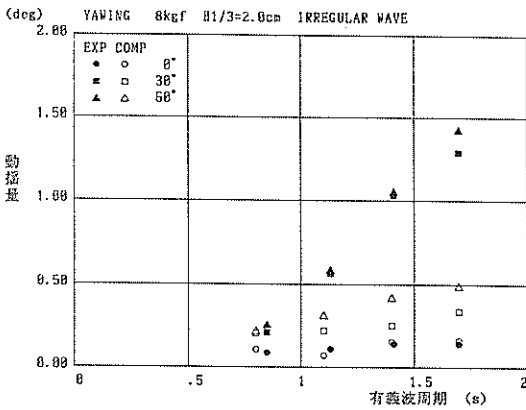


図-3.183 計算値と実験値の比較
 (ヨウイング, 不規則波H1/3=2cm, 8 kgf)

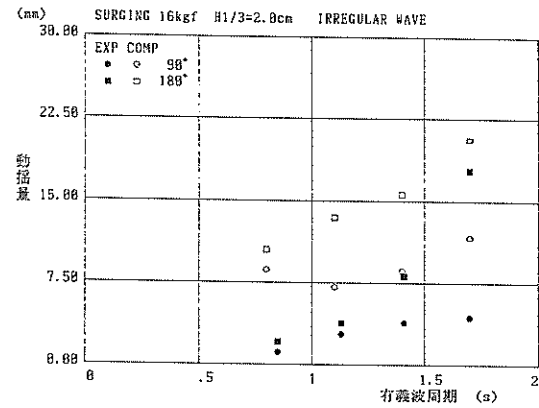


図-3.186 計算値と実験値の比較
 (サージング, 不規則波H1/3=2cm, 16kgf)

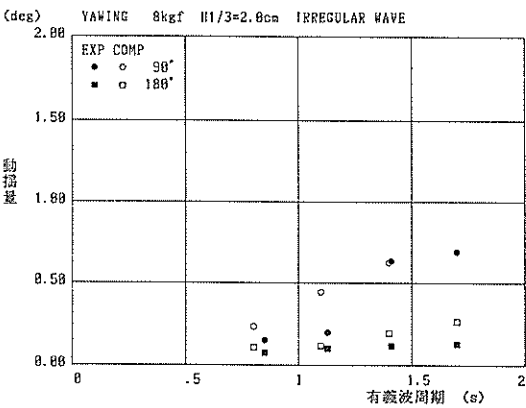


図-3.184 計算値と実験値の比較
 (ヨウイング, 不規則波H1/3=2cm, 8 kgf)

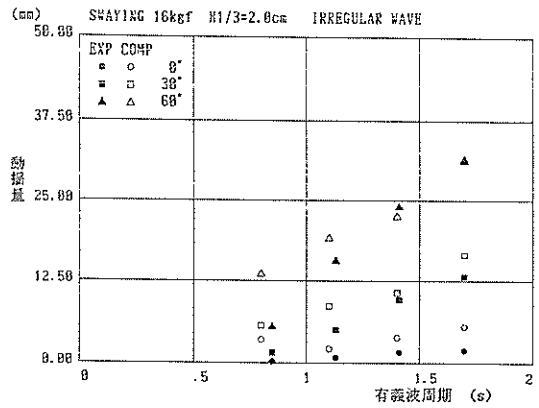


図-3.187 計算値と実験値の比較
 (スウェイイング, 不規則波H1/3=2cm, 16kgf)

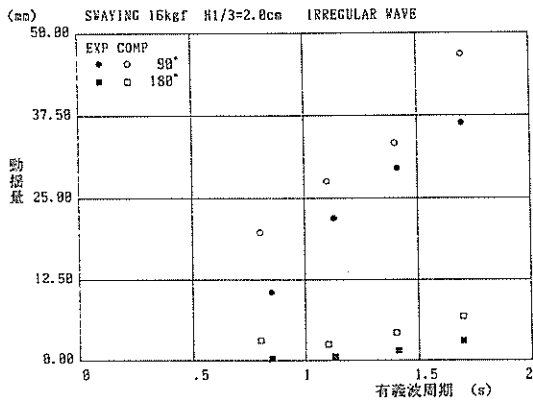


図-3.188 計算値と実験値の比較
 (スウェイング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 16kgf)

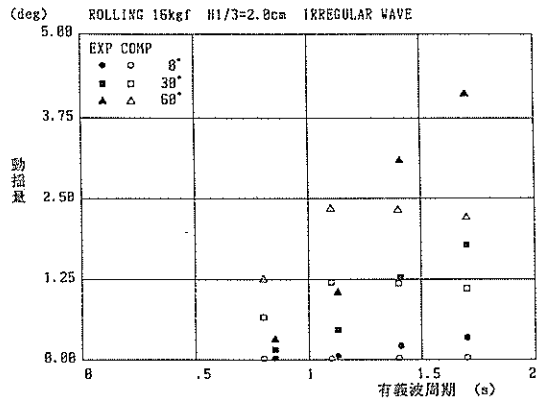


図-3.191 計算値と実験値の比較
 (ローリング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 16kgf)

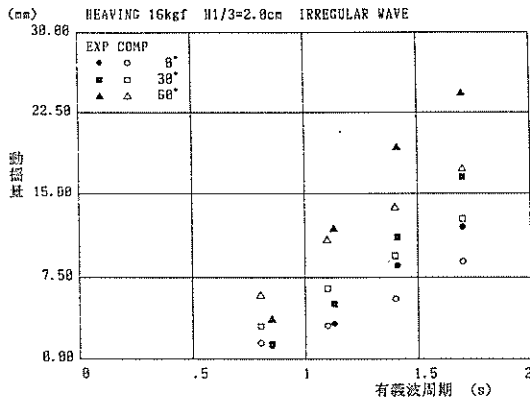


図-3.189 計算値と実験値の比較
 (ヒービング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 16kgf)

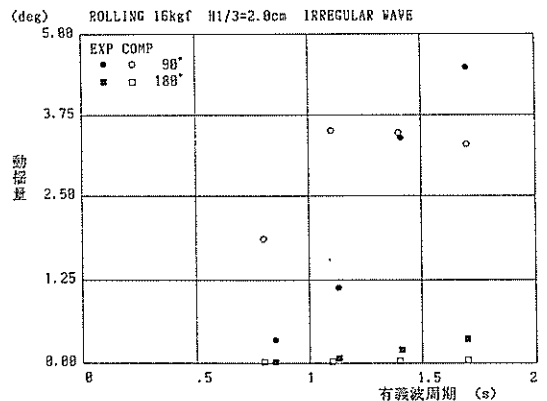


図-3.192 計算値と実験値の比較
 (ローリング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 16kgf)

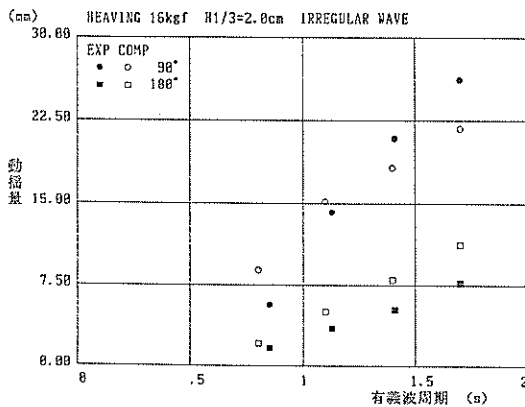


図-3.190 計算値と実験値の比較
 (ヒービング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 16kgf)

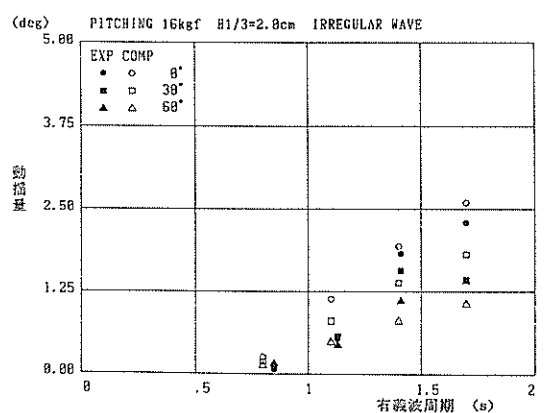


図-3.193 計算値と実験値の比較
 (ピッチング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 16kgf)

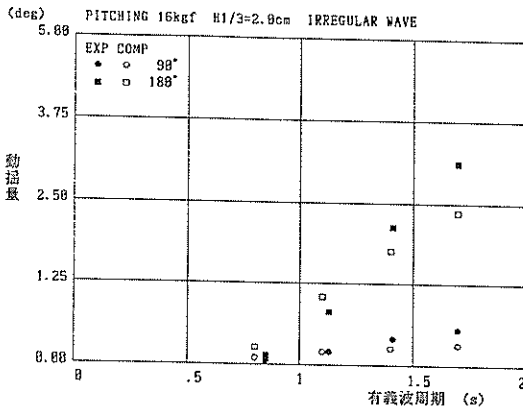


図-3.194 計算値と実験値の比較
(ピッチング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 16kgf)

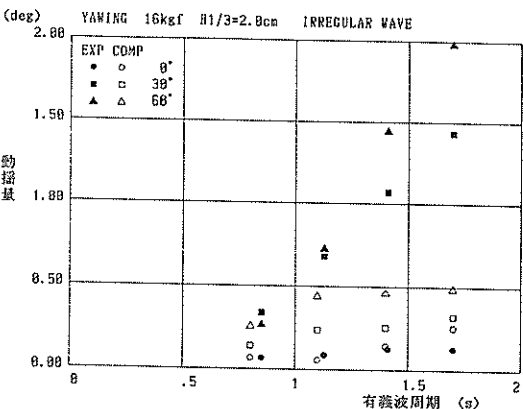


図-3.195 計算値と実験値の比較
(ヨウイング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 16kgf)

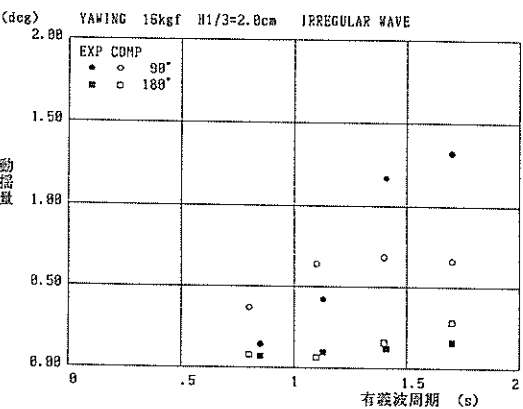


図-3.196 計算値と実験値の比較
(ヨウイング, 不規則波 $H_{1/3}=2\text{cm}$, 16kgf)

4. 稼働限界の波浪条件

4.1 概要

起重機船の稼働限界の波浪条件は、曳航時および作業時の起重機船および吊荷の動揺の許容値に基づいて定められる。現段階においては、曳航時および作業時の起重機船および吊荷の動揺の許容値を決めるには至っていないが、これが決められれば、起重機船および吊荷の動揺計算結果に基づいて、起重機船の稼働限界の波浪条件を決めることができる。ここでは、起重機船および吊荷の許容動揺量を仮定して、起重機船の稼働限界の波浪条件を求める。

4.2 稼働限界の波浪条件の設定の手順

稼働限界の波浪条件は以下の手順で求める。

- ①起重機船の動揺シミュレーションを行い、起重機船の動揺量、シーブブロック点および吊荷の動揺量を求める。
- ②起重機船の各動揺成分、シーブブロック点および吊荷の許容動揺量を設定する。
- ③上記のデータより稼働限界の波浪条件を求める。

4.3 起重機船の動揺シミュレーション

ここでは、3,000tf吊りの起重機船について、有義波高 $H_{1/3}=1.0\text{m}$ 、有義波周期 $T_{1/3}=5\text{s}\sim 16\text{s}$ 、波向 $0^\circ\sim 90^\circ$ (15° ごと)の条件で動揺シミュレーションを行った。計算条件は以下のとおりである。

項目	変数の個数	変数の値
水深	1	15m
波向	7	$0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$
波周期($T_{1/3}$)	12	5s~16s
波高($H_{1/3}$)	1	1m
吊荷	2	吊荷無し, 吊荷有り(1,931tf)

起重機船の動揺シミュレーションの結果は表-4.1~4.3に示すとおりである。表-4.1-1~表-4.1-2は吊荷無しの際の起重機船の動揺量、表-4.2-1~表-4.2-2は吊荷有りの際の起重機船の動揺量、表-4.3-1~表-4.3-6は吊荷およびシーブブロック点の動揺量ならびに吊荷張力である。

表-4.1~4.2における項目の略号は先に示したものと同一であるが改めて記述する。

表-4.1-1 大型起重機船の動揺量 (計算値、吊荷なし)

波高 (m)	波向 (°)	波周期 (s)	SURGE(m)			SWAY(m)			HEAVE(m)			ROLL(deg)			PITCH(deg)			YAW(deg)							
			X1/3	T1/3	MAX	MIN	Y1/3	T1/3	MAX	MIN	Z1/3	T1/3	MAX	MIN	θ1/3	T1/3	MAX	MIN	ψ1/3	T1/3	MAX	MIN			
1.0	0	5	0.277	52.2	-0.118	-0.064	0.001	6.03	0.001	-0.001	0.084	7.05	0.060	-0.060	0.010	7.42	0.005	-0.006	0.374	7.37	0.275	0.002	-0.256	0.002	-0.002
		6	0.389	53.9	-0.036	-0.717	0.001	7.29	0.001	-0.001	0.120	9.67	0.090	-0.088	0.015	7.73	0.010	-0.010	0.573	8.10	0.413	0.002	-0.376	0.002	0.002
		7	0.473	57.0	0.043	-0.824	0.001	7.74	0.001	-0.001	0.140	10.64	0.098	-0.112	0.015	8.14	0.010	-0.011	0.792	8.96	0.548	0.001	-0.531	0.001	0.002
		8	0.650	61.8	0.138	-0.855	0.001	8.58	0.001	-0.001	0.180	11.0	0.126	-0.140	0.015	8.66	0.011	-0.011	1.02	9.82	0.685	0.002	-0.686	0.001	0.002
		9	0.643	36.7	0.249	-0.869	0.001	9.35	0.001	-0.001	0.239	13.2	0.166	-0.174	0.015	9.16	0.011	-0.011	1.23	10.7	0.829	0.002	-0.840	0.002	0.001
		10	0.703	23.3	0.309	-0.853	0.001	10.2	0.001	-0.001	0.301	14.7	0.207	-0.212	0.015	9.80	0.010	-0.011	1.43	11.1	0.962	0.002	-0.954	0.002	0.002
		11	0.875	21.6	0.464	-0.872	0.001	10.6	0.001	-0.001	0.355	16.3	0.250	-0.248	0.015	10.3	0.010	-0.010	1.56	11.8	1.655	0.003	-1.036	0.003	0.003
		12	1.16	23.0	0.672	-0.997	0.001	11.5	0.001	0.000	0.412	18.8	0.297	-0.285	0.015	10.9	0.010	-0.010	1.71	12.5	1.167	0.004	-1.200	0.005	0.003
		13	1.63	24.3	0.887	-1.121	0.001	12.6	0.001	0.000	0.481	21.5	0.344	-0.321	0.014	11.5	0.010	-0.010	1.84	13.1	1.107	0.005	-1.241	0.005	0.004
		14	1.87	25.7	1.064	-1.296	0.001	14.4	0.001	0.000	0.544	21.9	0.385	-0.349	0.014	12.4	0.010	-0.010	1.74	13.1	1.212	0.005	-1.254	0.005	0.004
		15	2.08	25.8	1.164	-1.420	0.001	14.9	0.001	0.000	0.594	22.4	0.415	-0.369	0.014	13.1	0.010	-0.010	1.73	13.7	1.221	0.006	-1.254	0.006	0.004
		16	2.22	26.1	1.245	-1.465	0.001	16.3	0.001	0.000	0.651	22.4	0.434	-0.385	0.014	13.6	0.010	-0.010	1.71	13.9	1.231	0.006	-1.233	0.006	0.005
		5	0.242	52.2	-0.161	-0.600	0.035	31.6	0.251	0.125	0.080	7.04	0.059	-0.058	0.067	7.33	0.047	-0.047	0.406	7.36	0.292	0.074	0.291	-0.296	-0.472
		6	0.300	45.4	-0.123	-0.662	0.051	48.0	0.254	0.137	0.119	7.80	0.080	-0.088	0.113	7.96	0.076	-0.077	0.614	8.03	0.431	0.408	0.143	0.353	-0.182
		7	0.409	52.5	-0.076	-0.773	0.060	32.8	0.266	0.119	0.145	9.39	0.101	-0.116	0.156	9.02	0.111	-0.110	0.827	8.92	0.567	0.562	0.194	0.186	-0.133
		8	0.499	41.1	0.031	-0.796	0.092	25.9	0.246	0.074	0.191	10.9	0.132	-0.146	0.193	10.1	0.135	-0.138	1.05	9.73	0.699	0.720	0.257	20.1	-0.036
9	0.660	40.6	0.177	-0.818	0.133	21.3	0.229	0.011	0.255	12.9	0.176	-0.181	0.233	11.2	0.159	-0.162	1.25	10.6	0.835	0.867	0.312	15.4	0.078		
10	0.682	22.4	0.278	-0.808	0.182	18.2	0.194	-0.078	0.317	13.8	0.217	-0.221	0.263	12.2	0.175	-0.184	1.44	11.0	0.975	0.973	0.376	18.8	0.208		
11	0.858	21.8	0.461	-0.840	0.232	19.3	0.198	-0.169	0.374	15.9	0.259	-0.259	0.281	13.0	0.186	-0.192	1.56	11.3	1.062	1.033	0.417	17.8	0.369		
12	1.14	23.0	0.666	-0.955	0.300	21.7	0.213	-0.220	0.429	18.7	0.307	-0.298	0.286	13.4	0.195	-0.199	1.64	11.8	1.111	1.124	0.445	16.2	0.402		
13	1.50	24.8	0.882	-1.096	0.382	23.5	0.241	-0.282	0.500	21.4	0.353	-0.333	0.287	14.1	0.199	-0.202	1.69	12.5	1.162	1.191	0.497	19.3	0.452		
14	1.83	25.7	1.060	-1.273	0.460	25.0	0.293	-0.329	0.560	21.7	0.392	-0.363	0.287	14.8	0.200	-0.209	1.71	13.0	1.201	1.230	0.552	22.4	0.521		
15	2.04	25.9	1.168	-1.396	0.518	25.7	0.349	-0.359	0.609	22.3	0.422	-0.382	0.283	15.8	0.197	-0.210	1.71	13.5	1.209	1.240	0.593	25.8	0.554		
16	2.17	26.1	1.244	-1.441	0.559	26.5	0.373	-0.380	0.645	22.4	0.443	-0.395	0.277	17.4	0.191	-0.207	1.69	13.7	1.211	1.219	0.613	25.8	0.576		
5	0.202	59.7	-0.219	-0.555	0.086	21.3	0.432	0.231	0.072	7.23	0.053	-0.056	0.098	7.15	0.073	-0.075	0.525	7.32	0.351	0.345	0.145	12.6	-0.279		
6	0.241	53.5	-0.184	-0.604	0.134	29.6	0.452	0.214	0.124	8.33	0.088	-0.094	0.202	8.64	0.139	-0.132	0.736	7.85	0.504	0.500	0.258	14.8	-0.174		
7	0.294	49.6	-0.122	-0.651	0.140	18.8	0.483	0.167	0.174	9.91	0.115	-0.128	0.341	9.95	0.229	-0.212	0.919	8.58	0.629	0.646	0.379	13.4	-0.098		
8	0.408	39.3	-0.010	-0.670	0.202	16.8	0.510	0.083	0.236	10.9	0.153	-0.166	0.484	10.6	0.293	-0.306	1.11	9.32	0.737	0.796	0.513	16.0	0.042		
9	0.522	29.8	0.137	-0.703	0.307	17.2	0.521	-0.021	0.307	12.1	0.208	-0.208	0.595	11.0	0.375	-0.382	1.27	10.1	0.866	0.922	0.606	18.3	0.234		
10	0.624	20.0	0.252	-0.746	0.404	17.7	0.478	-0.165	0.306	13.3	0.295	-0.249	0.671	11.5	0.419	-0.442	1.42	10.8	0.989	1.066	0.691	19.9	0.423		
11	0.794	20.9	0.429	-0.767	0.492	18.0	0.499	-0.314	0.427	14.2	0.295	-0.289	0.710	11.8	0.442	-0.464	1.53	11.1	1.061	1.043	0.761	17.8	0.682		
12	1.08	23.6	0.652	-0.812	0.625	18.7	0.519	-0.429	0.480	16.5	0.345	-0.331	0.719	12.6	0.466	-0.471	1.59	11.6	1.100	1.069	0.817	17.4	0.744		
13	1.41	24.7	0.880	-1.033	0.781	20.2	0.556	-0.549	0.544	20.2	0.392	-0.389	0.712	13.0	0.481	-0.486	1.63	12.4	1.132	1.146	0.903	20.1	0.834		
14	1.72	26.3	1.037	-1.187	0.926	21.2	0.623	-0.643	0.609	21.7	0.431	-0.400	0.683	13.8	0.486	-0.492	1.64	12.5	1.161	1.179	1.01	23.7	0.940		
15	1.91	26.5	1.155	-1.302	1.03	21.6	0.687	-0.713	0.653	21.9	0.459	-0.419	0.674	14.6	0.481	-0.490	1.64	13.3	1.164	1.184	1.09	25.9	1.005		
16	2.04	27.2	1.233	-1.353	1.11	24.6	0.725	-0.745	0.686	21.9	0.477	-0.428	0.674	15.0	0.468	-0.479	1.60	13.3	1.142	1.160	1.12	26.8	1.080		
5	0.127	48.3	-0.254	-0.538	0.206	74.0	0.667	0.328	0.100	7.51	0.069	-0.074	0.181	8.12	0.125	-0.119	0.663	7.22	0.440	0.448	0.226	8.44	-0.344		
6	0.224	67.9	-0.201	-0.662	0.287	77.8	0.711	0.290	0.187	8.44	0.125	-0.128	0.484	9.05	0.302	-0.290	0.860	7.65	0.595	0.600	0.378	10.2	-0.204		
7	0.231	43.5	-0.124	-0.588	0.266	32.2	0.781	0.216	0.256	9.46	0.176	-0.171	0.813	9.67	0.307	-0.290	0.997	8.24	0.684	0.721	0.507	9.96	-0.084		
8	0.306	29.7	-0.007	-0.627	0.377	24.4	0.836	0.073	0.330	10.4	0.235	-0.219	1.09	10.7	0.293	-0.282	1.12	8.89	0.753	0.838	0.630	12.1	0.113		
9	0.417	19.7	0.091	-0.626	0.546	24.1	0.851	-0.094	0.407	11.4	0.293	-0.283	1.28	10.7	0.896	-0.787	1.23	9.81	0.847	0.929	0.743	14.8	-1.028		
10	0.548	18.2	0.270	-0.690	0.672	20.3	0.847	-0.281	0.475	12.6	0.332	-0.322	1.40	10.9	0.911	-0.878	1.33	10.4	0.943	0.983	0.835	17.4	0.600		
11	0.711	21.3	0.401	-0.638	0.799	20.5	0.891	-0.490	0.525	13.5	0.354	-0.341	1.44	11.1	0.963	-0.929	1.40	10.8	0.994	0.997	0.913	16.8	0.825		
12	0.938	23.3	0.623	-0.723	0.976	21.5	0.905	-0.654	0.588	14.8	0.403	-0.376	1.43	11.2	0.969	-0.953	1.45	11.1	1.018	1.081	0.961	16.7	0.962		
13	1.21	24.1	0.848	-0.905	1.21	23.8	0.952	-0.834	0.623	17.8	0.451	-0.417	1.39	11.5	0.969	-0.959	1.47	12.1	1.027	1.025	1.08	18.9	0.993		
14	1.46	26.5	0.978	-1.042	1.40	23.9	1.020	-0.975	0.678	20.3	0.490	-0.449	1.33	11.9	0.956	-0.949	1.47	12.4	1.047	1.049	1.21	22			

表-4.1-2 大型起重機船の動揺量 (計算値、吊荷なし)

波高 (m)	波向 (°)	波周期 (s)	SURGE(m)			SWAY(m)			HEAVE(m)			ROLL(deg)			PITCH(deg)			YAW(deg)								
			MAX	MIN	T1/3	MAX	MIN	T1/3	MAX	MIN	T1/3	MAX	MIN	T1/3	MAX	MIN	T1/3	MAX	MIN	T1/3						
1.0	60	5	0.107	16.0	-0.238	-0.437	0.285	57.5	0.943	0.404	0.196	7.33	0.137	-0.133	0.643	0.410	-0.411	0.854	7.11	0.444	-0.469	0.276	7.12	-0.309	-0.832	
		6	0.141	13.1	-0.202	-0.485	0.417	60.4	1.044	0.308	0.324	8.08	0.225	-0.224	1.34	0.851	-0.826	0.812	7.46	0.587	-0.588	0.398	8.37	-0.259	-0.890	
		7	0.176	13.2	-0.129	-0.535	0.428	32.0	1.167	0.238	0.394	8.89	0.290	-0.263	1.93	0.877	-1.203	0.894	8.06	0.621	-0.652	0.500	8.80	-0.171	-1.077	
		8	0.243	15.3	-0.015	-0.515	0.583	24.9	1.175	0.038	0.467	9.69	0.354	-0.312	2.30	9.30	1.482	-1.423	0.669	8.64	0.658	-0.730	0.592	10.6	0.137	-1.033
		9	0.331	15.1	0.066	-0.523	0.781	22.7	1.228	-0.192	0.536	10.9	0.414	-0.377	2.47	9.81	1.607	-1.561	1.02	9.47	0.700	-0.785	0.684	12.8	0.401	-0.946
		10	0.438	15.0	0.268	-0.531	0.970	20.9	1.244	-0.411	0.595	11.9	0.449	-0.417	2.52	10.2	1.661	-1.628	1.07	10.1	0.763	-0.811	0.764	15.6	0.642	-0.877
		11	0.556	20.5	0.369	-0.444	1.10	19.6	1.287	-0.666	0.645	13.0	0.450	-0.429	2.52	10.6	1.684	-1.658	1.13	10.7	0.796	-0.810	0.835	15.8	0.821	-0.780
		12	0.716	22.1	0.521	-0.530	1.31	21.5	1.322	-0.869	0.683	14.0	0.470	-0.444	2.46	10.8	1.689	-1.652	1.13	10.9	0.806	-0.784	0.893	16.3	0.910	-0.621
		13	0.913	24.0	0.681	-0.670	1.59	23.4	1.374	-1.098	0.722	15.6	0.516	-0.478	2.34	10.9	1.694	-1.625	1.13	11.2	0.802	-0.786	0.971	18.5	0.911	-0.552
		14	1.00	26.9	0.798	-0.788	1.85	23.8	1.441	-1.261	0.767	18.2	0.555	-0.505	2.22	11.1	1.584	-1.579	1.13	12.3	0.810	-0.801	1.08	21.3	1.003	-0.589
		15	1.20	27.5	0.815	-0.863	2.02	24.2	1.493	-1.367	0.806	20.6	0.582	-0.521	2.08	11.2	1.519	-1.515	1.11	12.7	0.801	-0.797	1.15	24.7	1.060	-0.457
		16	1.30	29.4	0.814	-0.879	2.15	24.9	1.535	-1.430	0.827	20.7	0.599	-0.504	1.95	11.5	1.444	-1.442	1.08	12.5	0.776	-0.775	1.20	26.3	1.062	-0.459
		5	0.089	12.9	-0.037	-0.269	0.328	34.8	1.209	0.463	0.298	7.21	0.219	-0.201	1.39	7.46	0.917	-0.927	0.420	7.01	0.284	-0.301	0.287	7.96	0.012	-0.527
		6	0.113	10.5	-0.044	-0.286	0.434	40.4	1.329	0.293	0.456	7.82	0.335	-0.320	2.51	8.06	1.682	-1.656	0.503	7.41	0.349	-0.368	0.285	9.07	0.018	-0.551
		7	0.130	10.8	-0.049	-0.294	0.551	25.2	1.475	0.189	0.523	8.59	0.385	-0.355	3.30	8.57	2.204	-2.182	0.537	7.98	0.375	-0.390	0.326	8.46	0.000	-0.585
		8	0.158	11.5	-0.029	-0.283	0.725	22.6	1.462	-0.002	0.594	9.52	0.453	-0.396	3.72	8.97	2.488	-2.425	0.568	8.59	0.390	-0.427	0.361	9.44	0.042	-0.572
9	0.206	13.7	0.077	-0.277	0.969	20.4	1.521	-0.231	0.654	10.4	0.514	-0.459	3.85	9.38	2.580	-2.453	0.589	9.31	0.403	-0.453	0.416	11.1	0.261	-0.518		
10	0.258	15.0	0.199	-0.249	1.19	20.1	1.556	-0.534	0.704	11.5	0.546	-0.498	3.79	9.80	2.540	-2.451	0.605	10.0	0.433	-0.463	0.458	13.8	0.417	-0.430		
11	0.311	19.0	0.233	-0.224	1.34	18.7	1.592	-0.792	0.742	12.6	0.542	-0.511	3.67	10.2	2.465	-2.404	0.618	10.6	0.448	-0.459	0.488	14.8	0.503	-0.365		
12	0.397	21.5	0.317	-0.276	1.55	20.7	1.635	-1.034	0.778	13.9	0.524	-0.520	3.49	10.3	2.351	-2.353	0.630	10.8	0.451	-0.442	0.529	15.8	0.511	-0.331		
13	0.500	24.0	0.393	-0.359	1.89	23.0	1.682	-1.300	0.810	14.6	0.570	-0.531	3.30	10.7	2.273	-2.276	0.628	11.1	0.446	-0.431	0.578	18.0	0.566	-0.286		
14	0.591	25.7	0.462	-0.442	2.15	24.0	1.746	-1.498	0.841	16.9	0.607	-0.557	3.11	10.8	2.181	-2.188	0.623	12.0	0.448	-0.437	0.642	21.5	0.613	-0.304		
15	0.662	27.8	0.481	-0.496	2.35	23.9	1.769	-1.538	0.872	18.9	0.633	-0.572	2.90	10.9	2.075	-2.083	0.611	12.6	0.441	-0.434	0.686	23.4	0.655	-0.306		
16	0.704	28.7	0.505	-0.519	2.47	24.6	1.769	-1.598	0.898	20.6	0.650	-0.577	2.70	11.0	1.960	-1.970	0.592	12.4	0.426	-0.421	0.704	25.9	0.695	-0.278		
5	0.000	4.03	0.000	-0.001	0.350	27.1	1.329	0.489	0.342	7.16	0.254	-0.233	1.78	7.38	1.183	-1.225	0.002	7.41	0.001	-0.001	0.002	2.73	0.002	-0.003		
6	0.000	8.40	0.001	0.000	0.470	35.1	1.459	0.313	0.509	7.75	0.380	-0.360	3.11	7.91	2.108	-2.105	0.002	8.01	0.002	-0.002	0.002	2.93	0.002	-0.002		
7	0.000	8.66	0.000	0.000	0.609	24.8	1.612	0.197	0.576	8.50	0.421	-0.392	3.96	8.43	2.669	-2.656	0.003	8.69	0.002	-0.002	0.001	2.94	0.001	-0.001		
8	0.000	11.5	0.001	0.000	0.792	22.0	1.592	-0.003	0.643	9.40	0.490	-0.430	4.39	8.85	2.966	-2.903	0.003	9.23	0.002	-0.002	0.001	4.29	0.001	-0.001		
9	0.001	11.6	0.001	-0.001	1.05	20.5	1.630	-0.309	0.700	10.3	0.552	-0.492	4.46	9.23	3.038	-2.887	0.003	9.75	0.002	-0.002	0.001	5.50	0.001	-0.001		
10	0.001	11.8	0.001	-0.001	1.28	19.4	1.679	-0.560	0.746	11.2	0.582	-0.530	4.37	9.65	2.961	-2.825	0.004	10.1	0.002	-0.002	0.001	7.34	0.001	-0.001		
11	0.001	14.1	0.001	-0.001	1.43	18.5	1.711	-0.841	0.783	12.5	0.576	-0.543	4.19	9.92	2.770	-2.733	0.004	10.3	0.003	-0.003	0.001	11.7	0.001	-0.002		
12	0.001	12.3	0.001	-0.001	1.64	20.1	1.753	-1.099	0.817	13.7	0.547	-0.550	3.96	10.3	2.646	-2.658	0.004	10.5	0.003	-0.003	0.001	12.5	0.001	-0.001		
13	0.001	11.8	0.001	-0.001	1.98	22.6	1.808	-1.394	0.842	14.5	0.592	-0.552	3.72	10.4	2.499	-2.560	0.004	10.6	0.003	-0.003	0.001	16.7	0.001	-0.001		
14	0.001	16.5	0.001	-0.001	2.27	24.0	1.854	-1.595	0.870	16.1	0.629	-0.577	3.48	10.7	2.439	-2.447	0.005	10.7	0.003	-0.003	0.001	41.9	0.002	-0.002		
15	0.001	13.6	0.001	-0.001	2.47	23.8	1.862	-1.606	0.894	18.0	0.654	-0.591	3.26	10.8	2.314	-2.323	0.005	10.7	0.003	-0.003	0.001	25.4	0.002	-0.002		
16	0.001	13.0	0.001	-0.001	2.59	25.1	1.853	-1.665	0.920	19.7	0.670	-0.596	3.03	10.9	2.181	-2.193	0.004	10.8	0.003	-0.003	0.001	22.0	0.001	-0.001		

表-4.2-1 大型起重機船の動揺量（計算値、吊荷あり）

波高 (m)	波向 (°)	波周期 (s)	SURGE(m)			SWAY(m)			HEAVE(m)			ROLL(deg)			PITCH(deg)			YAW(deg)										
			MAX	MIN	1/3	MAX	MIN	1/3	MAX	MIN	1/3	MAX	MIN	1/3	MAX	MIN	1/3	MAX	MIN	1/3								
1.0	0	5	0.212	48.0	-0.149	-0.508	0.0013	6.64	0.001	-0.001	0.0689	7.16	0.047	-0.048	0.0223	6.89	0.024	-0.013	0.277	7.54	0.198	-0.187	0.003	6.03	0.003	-0.003		
		6	0.318	51.2	-0.055	-0.636	0.0016	6.81	0.000	0.000	0.111	7.90	0.079	-0.084	0.0270	6.96	0.016	0.016	0.515	8.52	0.353	-0.321	0.0038	6.97	0.004	-0.002		
		7	0.351	50.1	0.014	-0.719	0.0013	6.89	0.001	-0.002	0.135	9.31	0.096	-0.109	0.0248	7.04	0.015	-0.015	0.754	9.25	0.517	-0.493	0.0035	7.31	0.005	-0.003		
		8	0.448	54.7	0.073	-0.755	0.0016	10.5	0.001	-0.001	0.179	11.2	0.128	-0.137	0.0227	7.10	0.014	-0.014	0.994	10.1	0.670	-0.643	0.0039	11.7	0.007	-0.005		
		9	0.428	44.1	0.009	-0.735	0.0023	18.6	0.001	-0.002	0.238	13.2	0.171	-0.171	0.0216	7.35	0.014	-0.014	1.37	10.9	0.886	-0.884	0.0143	18.4	0.011	-0.008		
		10	0.458	33.2	0.186	-0.695	0.0037	19.1	0.002	-0.003	0.301	14.8	0.213	-0.209	0.0214	7.79	0.016	-0.015	1.97	10.9	0.886	-0.884	0.0143	18.4	0.011	-0.008		
		11	0.612	26.5	0.295	-0.648	0.0050	19.4	0.005	-0.005	0.356	16.2	0.256	-0.243	0.0213	10.1	0.018	-0.016	2.61	11.1	0.921	-0.933	0.0198	19.1	0.014	-0.013		
		12	0.874	27.1	0.430	-0.737	0.0068	20.1	0.006	0.006	0.417	18.8	0.304	-0.276	0.0232	15.9	0.020	-0.018	3.55	11.3	1.051	-1.050	0.0262	19.1	0.018	-0.015		
		13	1.18	26.8	0.588	-0.892	0.0086	21.4	0.007	0.008	0.490	21.2	0.351	-0.306	0.0287	19.2	0.022	-0.019	4.58	11.6	1.056	-1.091	0.0329	19.3	0.020	-0.021		
		14	1.45	26.8	0.744	-1.025	0.0011	21.1	0.009	0.009	0.556	21.7	0.390	-0.340	0.0343	19.3	0.024	-0.021	5.58	12.1	1.085	-1.101	0.0406	19.5	0.026	-0.025		
		15	1.63	26.9	0.878	-1.136	0.0013	21.0	0.010	0.010	0.603	22.3	0.418	-0.372	0.0392	19.5	0.025	-0.023	6.53	12.3	1.085	-1.080	0.0469	19.5	0.029	-0.027		
		16	1.75	27.1	0.960	-0.077	0.0013	20.9	0.010	0.010	0.636	22.4	0.436	-0.393	0.0414	19.6	0.027	-0.025	7.50	12.6	1.060	-1.043	0.0502	19.5	0.033	-0.029		
		1.0	15	5	0.190	45.2	-0.189	-0.574	0.102	67.9	0.290	0.107	0.0647	7.13	0.046	-0.046	0.254	6.93	0.159	-0.153	0.306	7.55	0.213	-0.204	0.0853	26.7	-0.273	-0.492
				6	0.248	43.4	-0.124	-0.611	0.167	98.0	0.294	0.089	0.108	8.04	0.079	-0.083	0.317	7.11	0.192	-0.203	0.549	8.38	0.379	-0.351	0.155	28.5	-0.216	-0.520
				7	0.325	53.1	-0.080	-0.691	0.135	74.4	0.296	0.082	0.139	9.85	0.095	-0.111	0.325	7.43	0.214	-0.231	0.791	9.12	0.537	-0.522	0.218	14.0	-0.166	-0.597
				8	0.443	61.8	-0.015	-0.697	0.116	39.1	0.286	0.054	0.189	11.4	0.128	-0.142	0.340	8.20	0.260	-0.259	1.02	9.93	0.696	-0.670	0.339	16.6	0.007	-0.621
9	0.401			44.4	0.039	-0.687	0.164	21.8	0.267	0.006	0.252	13.0	0.171	-0.174	0.448	13.7	0.335	-0.361	1.23	10.6	0.797	-0.796	0.560	16.5	0.172	-0.687		
10	0.432			28.3	0.155	-0.648	0.224	18.6	0.257	-0.091	0.317	14.6	0.215	-0.215	0.631	17.8	0.432	-0.475	1.38	10.9	0.890	-0.892	0.813	17.0	0.476	-0.682		
11	0.566			24.0	0.290	-0.615	0.236	22.6	0.230	-0.241	0.374	15.9	0.260	-0.251	0.774	18.1	0.505	-0.559	1.49	11.1	0.938	-0.992	1.02	17.7	0.729	-0.668		
12	0.843			27.8	0.428	-0.693	0.368	22.5	0.263	-0.325	0.432	18.4	0.309	-0.285	0.897	18.7	0.581	-0.633	1.53	11.3	1.014	-1.057	1.24	18.6	0.851	-0.783		
13	1.14			26.8	0.594	-0.819	0.468	22.2	0.310	-0.383	0.505	21.2	0.356	-0.319	1.07	19.2	0.658	-0.706	1.57	11.7	1.047	-1.094	1.46	18.8	0.968	-0.938		
14	1.42			27.1	0.770	-0.975	0.560	24.5	0.345	-0.455	0.572	21.7	0.397	-0.349	1.21	19.2	0.724	-0.762	1.57	11.9	1.066	-1.101	1.67	19.2	1.123	-1.016		
15	1.59			27.3	0.896	-1.088	0.616	24.6	0.334	-0.501	0.619	21.9	0.426	-0.381	1.32	19.2	0.765	-0.803	1.51	12.2	1.066	-1.078	1.79	19.3	1.238	-1.023		
16	1.70			27.2	0.974	-1.125	0.642	25.6	0.342	-0.521	0.651	22.4	0.444	-0.403	1.33	19.3	0.760	-0.779	1.49	12.6	1.041	-1.039	1.80	19.4	1.282	-0.979		
1.0	30			5	0.165	52.0	-0.213	-0.559	0.284	87.6	0.523	0.141	0.050	7.31	0.038	-0.038	0.537	6.93	0.320	-0.321	0.406	7.43	0.279	-0.266	0.171	11.4	-0.281	-0.665
				6	0.271	77.6	-0.152	-0.562	0.396	93.2	0.595	0.103	0.107	8.65	0.075	-0.079	0.686	7.30	0.422	-0.463	0.667	8.15	0.457	-0.438	0.299	11.5	-0.177	-0.726
				7	0.288	67.5	-0.110	-0.613	0.328	71.6	0.631	0.065	0.160	10.3	0.104	-0.118	0.707	7.35	0.456	-0.528	0.885	8.79	0.598	-0.607	0.427	11.8	-0.077	-0.848
				8	0.306	52.8	-0.030	-0.620	0.371	56.1	0.600	-0.001	0.228	11.1	0.147	-0.156	0.731	7.76	0.545	-0.537	1.08	9.59	0.725	-0.747	0.628	13.4	0.109	-0.968
		9	0.320	34.6	0.010	-0.597	0.365	27.2	0.603	-0.082	0.301	12.6	0.202	-0.200	0.879	11.7	0.681	-0.731	1.25	10.3	0.828	-0.856	1.03	16.7	0.404	-1.136		
		10	0.391	24.3	0.131	-0.551	0.460	22.3	0.638	-0.266	0.370	13.4	0.249	-0.245	1.17	16.2	0.889	-0.916	1.39	10.7	0.910	-0.935	1.47	17.1	0.943	-1.270		
		11	0.535	24.6	0.297	-0.527	0.552	20.5	0.541	-0.412	0.425	14.3	0.291	-0.278	1.40	17.8	0.963	-1.040	1.48	11.0	0.945	-0.989	1.82	17.5	1.224	-1.305		
		12	0.787	27.9	0.493	-0.621	0.713	22.6	0.612	-0.541	0.484	17.6	0.339	-0.318	1.64	18.5	1.058	-1.164	1.52	11.0	0.989	-1.047	2.19	18.6	1.477	-1.432		
		13	1.06	27.6	0.656	-0.790	0.902	23.8	0.689	-0.670	0.547	20.0	0.385	-0.356	1.92	19.0	1.192	-1.290	1.54	11.6	1.012	-1.077	2.60	18.9	1.699	-1.652		
		14	1.30	28.0	0.796	-0.913	1.07	24.0	0.766	-0.770	0.615	21.5	0.424	-0.396	2.17	19.2	1.311	-1.375	1.53	12.0	1.012	-1.078	2.93	19.1	1.982	-1.773		
		15	1.46	28.4	0.925	-1.009	1.18	24.2	0.767	-0.836	0.665	21.8	0.452	-0.409	2.32	19.2	1.388	-1.446	1.50	12.0	1.005	-1.054	3.18	19.2	2.092	-1.810		
		16	1.57	28.4	0.995	-1.022	1.24	25.1	0.776	-0.864	0.696	21.9	0.470	-0.432	2.35	19.3	1.416	-1.415	1.44	12.2	0.977	-1.013	3.20	19.3	2.187	-1.821		
		1.0	45	5	0.159	51.9	-0.206	-0.561	0.575	86.7	0.857	0.138	0.068	7.93	0.048	-0.052	0.884	6.92	0.615	-0.541	0.526	7.33	0.355	-0.347	0.269	8.09	-0.310	-0.782
				6	0.231	60.8	-0.140	-0.544	0.728	91.1	1.025	0.119	0.165	8.81	0.103	-0.103	1.07	7.11	0.667	-0.739	0.782	7.86	0.457	-0.538	0.429	9.96	-0.174	-0.849
				7	0.215	43.6	-0.084	-0.578	0.654	71.6	1.063	0.051	0.237	9.85	0.159	-0.152	1.09	7.40	0.721	-0.816	0.958	8.52	0.657	-0.684	0.573	10.9	-0.039	-0.984
				8	0.263	36.4	0.012	-0.560	0.698	56.4	1.073	-0.071	0.318	10.8	0.219	-0.210	1.12	7.90	0.839	-0.774	1.11	9.20	0.749	-0.798	0.803	12.2	0.223	-1.089
9	0.283			25.3	0.026	-0.503	0.691	39.8	1.068	-0.212	0.398	11.6	0.279	-0.271	1.25	10.0	0.994	-1.007	1.23	9.92	0.830	-0.886	1.29	16.4	0.620	-1.233		
10	0.358			20.4	0.078	-0.472	0.784	32.0	1.137	-0.423	0.470	12.9	0.320	-0.313	1.51	14.2	1.258	-1.225	1.33	10.5	0.895	-0.935	1.81	17.2	1.299	-1.362		
11	0.498			23.0	0.378	-0.406	0.832	22.6	0.865	-0.552	0.521	13.5	0.349	-0.339	1.78	16.8	1.345	-1.356	1.39	10.8	0.922	-0.943	2.23	17.7	1.563	-1.462		
12	0.700			27.3	0.507	-0.533	1.03	22.2	0.951	-0.739	0.667	14.9	0.399	-0.365	2.08	18.3	1.361	-1.480	1.41	11.0	0.929	-0.970	2.68					

表—4.2-2 大型起重機船の動揺量（計算値、吊荷あり）

波高 (m)	波向 (°)	波周期 (s)	SURGE(m)			SWAY(m)			HEAVE(m)			ROLL(deg)			PITCH(deg)			YAW(deg)					
			X1/3	T1/3	MAX	MIN	Y1/3	MAX	MIN	Z1/3	T1/3	MAX	MIN	θ1/3	T1/3	MAX	MIN	φ1/3	T1/3	MAX	MIN		
1.0	60	5	0.133	19.6	-0.090	-0.446	1.00	87.7	1.268	0.023	0.156	7.41	1.110	-1.104	0.543	7.27	0.371	-0.371	0.374	9.47	-0.960	-0.825	
		6	0.195	23.2	-0.026	-0.416	1.42	99.4	1.543	-0.022	0.291	8.29	1.361	-1.365	0.765	7.72	0.540	-0.534	0.441	9.64	-0.001	-0.790	
		7	0.217	19.9	-0.026	-0.510	1.08	77.3	1.588	-0.025	0.373	9.18	1.439	-1.449	0.890	8.29	0.618	-0.638	0.573	11.4	0.112	-0.963	
		8	0.265	26.6	0.075	-0.487	1.05	54.9	1.572	-0.230	0.451	10.1	1.394	-1.367	0.887	8.88	0.674	-0.717	0.787	14.7	0.329	-1.014	
		9	0.275	19.1	0.123	-0.437	1.01	44.2	1.590	-0.397	0.528	11.1	1.464	-1.449	1.06	9.68	0.712	-0.770	1.22	16.0	0.789	-1.126	
		10	0.339	18.5	0.353	-0.436	1.14	40.4	1.632	-0.614	0.590	12.0	1.640	-1.603	1.11	10.3	0.755	-0.803	1.75	17.5	1.263	-1.197	
		11	0.402	21.4	0.398	-0.339	1.12	24.0	1.231	-0.711	0.644	13.2	1.443	-1.423	2.03	12.6	0.774	-0.794	2.13	17.9	1.551	-1.377	
		12	0.552	25.6	0.467	-0.416	1.30	22.8	1.223	-0.909	0.680	14.0	1.468	-1.435	2.09	15.1	1.734	-1.666	1.15	10.9	1.770	-0.782	
		13	0.737	28.5	0.533	-0.569	1.58	24.2	1.321	-1.128	0.720	15.3	1.515	-1.465	2.32	18.0	1.652	-1.713	1.34	11.2	0.779	-0.793	
		14	0.907	30.3	0.641	-0.644	1.82	26.1	1.424	-1.278	0.770	18.8	1.554	-1.492	2.56	19.0	1.682	-1.733	1.43	11.6	0.759	-0.784	
		15	1.01	30.4	0.728	-0.669	1.98	25.7	1.438	-1.386	0.812	20.6	1.580	-1.513	2.63	19.1	1.762	-1.736	1.05	11.8	0.736	-0.761	
		16	1.07	29.6	0.759	-0.696	2.09	26.1	1.447	-1.465	0.835	21.0	1.598	-1.527	2.65	19.3	1.756	-1.794	1.05	12.0	0.698	-0.725	
		5	0.107	16.2	0.035	-0.214	1.16	74.8	1.630	-0.092	0.257	7.23	1.190	-1.178	3.89	6.90	7.24	0.261	-0.262	0.508	7.22	0.248	-0.504
		6	0.151	12.7	0.079	-0.217	1.82	98.8	1.912	-0.212	0.424	8.01	0.309	-0.294	4.55	7.02	2.884	-2.817	0.527	7.66	0.377	-0.369	
		7	0.166	13.6	0.078	-0.251	1.46	79.1	1.949	-0.231	0.507	8.80	0.374	-0.335	4.38	7.16	2.963	-2.881	0.593	8.24	0.421	-0.419	
		8	0.186	18.1	0.140	-0.257	1.29	51.4	1.874	-0.345	0.586	9.48	0.445	-0.396	4.13	7.29	2.776	-2.682	0.644	8.78	0.448	-0.458	
9	0.206	20.6	0.174	-0.263	1.24	42.7	1.959	-0.527	0.652	10.5	0.508	-0.458	3.95	7.43	2.618	-2.541	0.674	9.48	0.462	-0.486			
10	0.235	23.6	0.307	-0.385	1.39	37.7	2.000	-0.733	0.707	11.6	0.540	-0.496	3.75	7.56	2.516	-2.578	0.691	10.2	0.468	-0.500			
11	0.247	21.7	0.281	-0.255	1.32	23.6	1.549	-0.831	0.748	12.7	0.538	-0.509	3.35	7.78	2.453	-2.430	0.709	10.5	0.478	-0.490			
12	0.324	24.3	0.306	-0.256	1.46	22.7	1.469	-1.040	0.781	13.9	0.528	-0.516	2.85	8.48	2.344	-2.125	0.709	10.8	0.473	-0.472			
13	0.426	29.7	0.311	-0.360	1.76	23.2	1.461	-1.250	0.813	14.9	0.574	-0.523	2.41	9.98	2.044	-2.039	0.702	11.1	0.462	-0.475			
14	0.523	31.6	0.361	-0.407	2.03	24.7	1.543	-1.410	0.847	17.4	0.610	-0.549	2.17	12.2	1.730	-1.874	0.685	11.3	0.453	-0.465			
15	0.582	32.0	0.382	-0.479	2.20	25.5	1.569	-1.501	0.884	19.4	0.636	-0.564	2.04	13.7	1.714	-1.790	0.668	11.5	0.438	-0.448			
16	0.620	31.9	0.386	-0.494	2.29	25.7	1.575	-1.580	0.907	20.3	0.652	-0.570	2.03	13.1	1.741	-1.864	0.638	11.7	0.415	-0.425			
5	0.0651	91.6	0.058	-0.035	1.11	82.6	1.771	-0.163	0.307	7.20	0.229	-0.212	5.22	6.88	3.055	-2.961	0.124	7.39	0.088	-0.079			
6	0.127	99.7	0.064	-0.090	1.99	100.0	2.083	-0.235	0.490	7.88	0.360	-0.344	6.15	6.98	3.880	-3.736	0.161	7.76	0.129	-0.094			
7	0.131	91.2	0.101	-0.115	1.34	60.3	2.107	-0.251	0.370	8.65	0.418	-0.382	5.89	7.11	3.910	-3.779	0.153	8.19	0.125	-0.084			
8	0.174	82.5	0.081	-0.157	1.38	49.9	2.027	-0.379	0.646	9.53	0.490	-0.437	5.54	7.22	3.646	-3.503	0.152	8.65	0.121	-0.086			
9	0.229	106	0.092	-0.188	1.29	40.8	2.123	-0.559	0.706	10.5	0.552	-0.500	5.25	7.32	3.265	-3.263	0.154	9.18	0.121	-0.090			
10	0.269	99.7	0.147	-0.264	1.49	37.6	2.120	-0.754	0.758	11.3	0.583	-0.537	4.95	7.43	3.157	-3.214	0.153	9.59	0.119	-0.093			
11	0.122	77.6	0.069	-0.145	1.39	23.1	1.721	-0.861	0.793	12.6	0.578	-0.546	4.37	7.49	2.859	-2.917	0.151	9.96	0.112	-0.098			
12	0.121	66.0	0.075	-0.148	1.57	23.0	1.632	-1.101	0.826	13.7	0.556	-0.551	3.55	7.61	2.602	-2.410	0.151	10.4	0.105	-0.098			
13	0.139	56.7	0.072	-0.175	1.83	22.9	1.630	-1.317	0.850	14.4	0.601	-0.552	2.82	7.87	2.189	-2.062	0.151	10.7	0.097	-0.101			
14	0.128	30.0	0.037	-0.181	2.08	24.2	1.641	-1.458	0.878	16.1	0.637	-0.575	2.30	8.14	1.839	-1.700	0.150	10.9	0.094	-0.103			
15	0.130	24.0	0.042	-0.196	2.25	24.9	1.626	-1.475	0.904	18.1	0.662	-0.590	1.98	8.28	1.633	-1.550	0.147	11.1	0.094	-0.103			
16	0.141	25.2	0.067	-0.205	2.35	24.3	1.625	-1.552	0.931	19.8	0.676	-0.594	2.01	8.46	1.698	-1.607	0.146	11.2	0.096	-0.101			

表-4.3-1 吊荷の動揺量(計算値、吊荷あり)

高さ (m)	波向	波周期 (s)	TURIX(m)			TURIZ(m)			ANGX(deg)			ANGZ(deg)										
			Tl/3	MAX	MIN	Tl/3	MAX	MIN	Tl/3	MAX	MIN	Tl/3	MAX	MIN								
1.0	0	5	0.531	8.53	0.047	-0.849	0.042	0.367	-0.025	-0.267	0.369	0.029	-0.311	0.310	0.017	-0.018	0.194	4.76	180.01	179.50		
		6	0.899	9.72	0.242	-1.074	0.051	0.678	0.032	-0.480	0.651	0.035	-0.497	0.463	0.021	-0.022	0.345	4.59	180.01	179.52		
		7	1.26	10.97	0.473	-1.333	0.047	0.938	0.030	-0.628	0.964	0.032	-0.697	0.635	0.031	-0.021	0.513	5.12	180.01	179.32		
		8	1.62	10.2	0.845	-1.591	0.043	1.13	0.027	-0.826	1.28	0.02	-0.814	0.891	0.03	0.019	-0.021	0.784	6.48	180.01	178.91	
		9	1.92	10.9	1.034	-1.716	0.040	1.35	0.025	-0.924	1.55	0.017	-1.006	1.049	0.03	0.020	-0.023	1.35	8.50	180.01	178.25	
		10	2.20	10.9	1.154	-1.748	0.037	1.76	0.024	-0.923	1.76	0.011	-1.191	1.185	0.03	0.023	-0.025	1.62	9.22	180.01	177.37	
		11	2.29	11.1	1.329	-1.667	0.032	1.76	0.021	-0.921	1.91	0.011	-1.327	1.266	0.03	0.025	-0.027	1.62	8.90	180.01	176.68	
		12	2.36	11.4	1.374	-1.683	0.026	1.76	0.018	-0.921	2.01	0.012	-1.416	1.363	0.03	0.029	-0.028	1.62	9.09	180.01	176.14	
		13	2.40	11.8	1.469	-1.743	0.020	1.87	0.018	-0.917	2.06	0.012	-1.473	1.411	0.03	0.031	-0.032	1.62	9.16	180.01	175.72	
		14	2.40	12.2	1.521	-1.805	0.018	1.93	0.017	-0.917	2.07	0.013	-1.487	1.451	0.03	0.035	-0.037	1.61	9.21	180.01	175.42	
		15	2.35	12.4	1.587	-1.734	0.017	1.93	0.017	-0.915	2.05	0.013	-1.486	1.453	0.03	0.038	-0.040	1.61	9.29	180.01	175.23	
		16	2.28	13.6	1.505	-1.704	0.018	2.03	0.018	-0.920	2.01	0.014	-1.489	1.424	0.03	0.041	-0.042	1.86	9.34	180.01	175.19	
		5	0.566	8.08	0.050	-0.843	0.480	6.95	0.069	-0.559	0.397	0.400	7.95	0.319	-0.323	0.326	0.203	-0.203	0.200	4.84	180.01	179.68
		6	0.945	8.78	0.236	-1.066	0.573	7.09	0.189	-0.586	0.713	0.698	8.71	0.477	-0.516	0.391	0.245	-0.236	0.323	5.50	180.01	179.50
		7	1.32	9.29	0.435	-1.295	0.550	7.23	0.194	-0.592	1.01	0.93	9.55	0.702	-0.716	0.385	0.267	-0.247	0.482	6.07	180.01	179.29
		8	0.66	9.93	0.795	-1.534	0.532	7.36	0.304	-0.569	1.32	1.01	10.8	1.018	-1.105	0.395	0.324	-0.293	0.722	6.68	180.01	178.91
9	1.95	10.8	1.008	-1.659	0.519	7.66	0.343	-0.532	1.58	1.06	12.3	1.208	-1.066	0.333	0.333	-0.421	1.18	9.57	180.01	178.29		
10	2.17	10.8	1.153	-1.670	0.501	7.84	0.439	-0.499	1.79	1.10	12.4	1.206	-1.195	0.355	0.355	-0.551	1.75	9.54	180.01	177.48		
11	2.37	11.2	1.425	-1.627	0.403	10.4	0.475	-0.333	2.02	1.19	14.3	1.433	-1.361	0.333	0.366	-0.829	2.48	8.97	180.01	176.34		
12	2.40	11.8	1.499	-1.668	0.416	18.9	0.589	-0.275	2.07	12.4	14.86	1.486	-1.408	0.597	0.105	-1.005	2.72	9.35	179.59	175.92		
13	2.40	12.1	1.524	-1.724	0.460	26.5	0.673	-0.246	2.09	13.0	14.97	1.441	0.448	0.648	0.135	-1.129	2.89	9.12	180.01	175.62		
14	2.33	12.3	1.578	-1.665	0.508	29.6	0.768	-0.247	2.06	13.3	14.95	1.444	0.648	0.775	0.195	-1.163	3.00	9.22	180.01	175.43		
15	2.25	13.0	1.496	-1.640	0.530	24.1	0.853	-0.299	2.02	13.9	16.8	1.479	-1.414	0.841	0.226	-1.171	3.05	9.30	180.01	175.37		
5	0.742	7.51	0.150	-0.950	1.02	6.91	0.441	-0.934	0.498	0.498	7.42	0.335	-0.345	0.515	0.376	-0.363	0.688	6.87	180.01	179.55		
6	1.16	8.18	0.421	-1.239	1.27	7.05	0.680	-1.000	0.833	0.821	8.21	0.551	-0.592	0.841	0.603	-0.570	0.861	6.98	180.01	179.31		
7	1.51	8.91	0.555	-1.448	1.23	7.16	0.716	-1.007	1.11	0.905	9.05	0.765	-0.791	1.14	0.823	-0.779	0.852	7.18	180.01	179.12		
8	1.81	9.51	0.773	-1.625	1.18	7.30	0.923	-1.058	1.40	0.991	9.93	0.953	-0.968	1.51	1.03	-1.120	1.100	0.862	7.59	180.01	178.99	
9	2.03	10.1	1.018	-1.624	1.17	7.50	0.981	-1.001	1.64	1.05	11.4	1.114	-1.105	2.18	1.43	-1.524	1.629	1.18	13.8	180.01	178.38	
10	2.20	10.5	1.203	-1.586	1.15	7.61	1.096	-0.953	1.83	1.09	12.38	1.238	-1.228	3.18	1.81	-2.226	2.205	1.79	17.7	180.01	177.00	
11	2.29	10.8	1.472	-1.539	1.05	8.18	1.302	-0.808	1.96	1.14	13.68	1.448	-1.291	4.04	18.4	-2.750	-2.649	2.57	18.4	180.01	177.22	
12	2.34	11.0	1.531	-1.604	0.905	8.97	1.398	-0.678	2.05	1.19	14.48	1.431	-1.351	4.60	18.3	-3.175	-2.871	2.57	19.2	179.97	176.82	
13	2.35	11.2	1.600	-1.608	0.822	12.2	1.444	-0.637	2.09	12.4	15.04	1.384	-1.384	5.07	18.6	-3.516	-3.039	3.02	19.3	180.01	176.44	
14	2.31	11.7	1.629	-1.597	0.847	18.8	1.130	-0.587	2.09	13.1	14.99	1.407	-1.407	5.44	18.5	-3.761	-3.161	3.47	19.3	180.01	176.16	
15	2.26	12.1	1.631	-1.563	0.881	21.8	1.270	-0.547	2.07	13.7	15.01	1.417	-1.417	5.74	18.6	-3.904	-3.244	3.69	19.3	180.01	175.98	
16	2.17	12.0	1.569	-1.519	0.937	21.1	1.388	-0.631	2.02	13.7	16.6	1.401	-1.404	5.88	18.7	-3.934	-3.336	3.75	19.4	180.01	175.91	
5	1.30	7.36	0.289	-1.087	1.66	6.93	0.976	-1.374	0.625	0.625	7.33	0.422	-0.430	0.682	7.36	0.484	-0.455	1.13	6.86	180.01	179.31	
6	1.91	7.87	0.630	-1.396	1.97	7.08	1.350	-1.383	0.977	0.897	8.66	0.662	-0.698	1.02	7.89	0.745	-0.686	1.32	6.98	180.01	179.10	
7	2.19	8.44	0.774	-1.618	1.88	7.19	1.413	-1.360	1.21	0.87	9.89	0.863	-0.868	1.27	8.64	0.929	-0.840	1.29	7.15	180.01	179.00	
8	2.48	9.11	0.985	-1.738	1.80	7.65	1.630	-1.241	1.45	0.94	11.33	1.033	-1.011	1.53	9.50	1.202	-1.056	1.28	7.59	180.01	178.81	
9	2.68	9.65	1.066	-1.688	1.80	7.92	1.688	-1.361	1.65	1.03	11.71	1.137	-1.137	1.97	12.9	1.438	-1.478	1.57	11.9	180.01	178.42	
10	2.63	10.1	1.237	-1.554	1.78	7.82	1.855	-1.355	1.81	1.08	12.3	1.245	-1.245	2.69	16.7	1.807	-1.924	3.40	17.5	180.01	177.95	
11	2.69	10.5	1.447	-1.463	1.65	7.81	1.615	-1.175	1.93	1.13	13.33	1.279	-1.279	3.23	18.1	2.201	-2.236	2.78	18.5	180.01	177.60	
12	2.67	10.9	1.539	-1.532	1.43	8.41	1.465	-0.961	2.00	1.19	14.02	1.292	-1.292	3.61	18.2	2.520	-2.372	3.27	19.1	180.01	177.30	
13	2.63	10.9	1.586	-1.541	1.23	9.41	1.429	-0.868	2.01	12.4	14.36	1.309	-1.309	3.91	18.3	2.767	-2.442	3.47	19.3	179.99	177.11	
14	2.58	11.3	1.605	-1.537	1.14	8.32	1.415	-0.718	2.02	13.4	14.34	1.348	-1.348	4.14	18.5	2.936	-2.476	4.23	19.3	180.01	176.93	
15	2.57	11.7	1.594	-1.419	1.16	16.5	1.546	-0.692	2.00	13.6	14.49	1.365	-1.365	4.32	18.6	3.026	-2.566	4.47	19.3	179.98	176.80	
16	2.49	12.0	1.532	-1.347	1.18	15.3	1.680	-0.775	1.96	13.5	14.48	1.350	-1.350	4.38	18.7	3.030	-2.583	4.48	19.4	179.99	176.72	

表-4.3-2 吊荷の動揺量（計算値、吊荷あり）

波高 (m)	波向 (°)	波周期 (s)	TURIX(m)			TURIY(m)			TURIZ(m)			ANGX(deg)			ANGY(deg)			ANGZ(deg)								
			MAX	MIN	T/3	MAX	MIN	T/3	MAX	MIN	T/3	MAX	MIN	T/3	MAX	MIN	T/3	MAX	MIN	T/3						
1.0	60	5	1.03	7.29	0.422	-1.019	3.48	6.95	2.337	-2.407	0.650	7.27	0.454	-0.452	0.714	7.28	0.509	-0.480	2.34	6.88	1.453	-1.480	3.45	180.01	178.59	
		6	1.44	7.70	0.733	-1.312	3.77	7.11	2.960	-2.274	0.981	7.85	0.683	-0.707	1.03	7.69	0.758	-0.693	2.57	7.05	1.627	-1.627	4.02	180.01	178.31	
		7	1.64	8.20	0.870	-1.487	3.54	7.22	2.860	-2.155	1.17	8.74	0.841	-0.840	1.21	8.34	0.909	-0.789	2.46	7.26	1.640	-1.648	4.44	180.01	178.26	
		8	1.77	8.83	1.021	-1.561	3.31	7.36	2.865	-2.136	1.35	9.50	0.980	-0.945	1.38	9.29	1.008	-0.926	2.38	7.55	1.750	-1.592	5.51	180.01	178.25	
		9	1.83	9.27	1.010	-1.498	3.16	7.53	3.055	-1.909	1.51	10.3	1.091	-1.045	1.62	11.7	1.220	-1.218	2.41	8.20	2.019	-1.763	7.81	180.01	177.97	
		10	1.85	9.71	1.144	-1.335	3.04	7.61	2.962	-1.860	1.63	10.9	1.162	-1.133	2.00	15.1	1.410	-1.530	2.66	12.2	2.266	-2.088	9.12	180.01	177.60	
		11	1.84	10.2	1.209	-1.268	2.75	7.69	2.462	-1.528	1.73	11.5	1.182	-1.160	2.33	16.7	1.573	-1.688	3.04	16.2	2.449	-2.091	11.3	180.01	177.48	
		12	1.83	10.5	1.331	-1.277	2.34	8.07	2.063	-1.363	1.78	11.8	1.238	-1.150	2.53	17.2	1.787	-1.766	3.38	18.6	2.588	-2.143	11.8	180.00	177.39	
		13	1.79	10.9	1.355	-1.290	1.98	8.38	1.814	-1.246	1.80	12.5	1.261	-1.154	2.75	18.0	1.948	-1.772	3.72	19.1	2.671	-2.299	16.1	180.00	177.32	
		14	1.73	11.1	1.354	-1.297	1.72	8.59	1.748	-1.260	1.80	13.5	1.267	-1.187	2.85	18.1	2.057	-1.804	4.06	19.2	2.681	-2.512	17.0	180.01	177.32	
		15	1.66	11.6	1.323	-1.188	1.55	10.2	1.885	-1.003	1.79	13.7	1.288	-1.201	2.93	18.5	2.091	-1.827	4.20	19.2	2.625	-2.513	17.71	180.00	177.37	
		16	1.57	11.6	1.271	-1.137	1.63	9.89	2.058	-1.133	1.75	14.1	1.281	-1.189	2.93	18.5	2.073	-1.840	4.19	19.0	2.699	-2.471	17.6	180.00	177.25	
		5	0.713	7.27	0.408	-0.607	7.35	6.93	5.001	-4.071	0.484	7.29	0.344	-0.341	0.488	7.25	0.344	-0.340	5.00	6.89	2.923	-2.926	2.44	3.45	180.00	177.02
		6	0.997	7.66	0.602	-0.800	8.35	7.03	6.433	-4.055	0.765	8.03	0.539	-0.549	0.715	7.69	0.517	-0.484	5.73	7.00	3.530	-3.584	2.76	3.51	180.01	176.42
		7	1.11	8.13	0.644	-0.892	7.83	7.11	6.215	-4.092	0.910	8.94	0.650	-0.644	0.822	8.22	0.605	-0.535	5.45	7.16	3.543	-3.576	2.62	3.58	180.01	176.42
		8	1.17	8.77	0.706	-0.937	7.25	7.19	5.756	-3.904	1.05	9.59	0.756	-0.714	0.906	9.06	0.702	-0.616	5.13	7.29	3.314	-3.390	2.43	3.66	180.01	176.60
9	1.19	9.18	0.714	-0.916	6.83	7.26	5.247	-4.389	1.16	10.5	0.846	-0.806	1.01	10.3	0.763	-0.781	4.93	7.45	3.423	-3.178	2.33	4.03	180.00	176.56		
10	1.18	9.58	0.736	-0.852	6.37	7.36	4.900	-3.652	1.26	11.0	0.901	-0.870	1.22	14.2	0.851	-0.954	4.72	7.69	3.563	-3.256	2.27	4.20	180.01	176.45		
11	1.17	10.1	0.745	-0.817	5.65	7.46	4.045	-3.226	1.33	11.6	0.903	-0.888	1.37	16.0	0.933	-1.014	4.25	8.03	3.369	-3.082	2.06	5.07	180.00	176.61		
12	1.15	10.3	0.838	-0.802	4.63	7.52	3.377	-2.851	1.37	12.3	0.940	-0.881	1.48	16.7	1.060	-1.057	3.67	9.61	3.163	-2.785	1.86	6.21	180.01	176.83		
13	1.12	10.8	0.857	-0.813	3.70	7.66	2.860	-2.316	1.38	13.0	0.963	-0.883	1.57	17.7	1.150	-1.074	3.36	12.3	2.928	-2.646	1.71	7.20	180.00	177.08		
14	1.08	11.0	0.840	-0.825	3.05	7.93	2.470	-1.882	1.40	14.2	0.985	-0.897	1.66	18.1	1.214	-1.109	3.31	15.9	2.689	-2.645	1.63	9.62	180.00	177.32		
15	1.03	11.1	0.793	-0.771	2.66	7.99	2.582	-1.670	1.39	14.8	0.997	-0.911	1.70	18.4	1.218	-1.128	3.20	17.8	2.316	-2.611	1.52	9.77	180.00	177.39		
16	0.974	12.1	0.751	-0.767	2.71	7.82	2.778	-2.071	1.37	15.2	1.006	-0.915	1.70	18.4	1.196	-1.119	3.13	16.9	2.502	-2.518	1.50	8.74	180.01	177.47		
5	0.221	7.43	0.166	-0.148	6.91	6.661	5.322	-4.230	0.230	7.43	0.165	-0.161	0.153	7.50	0.100	0.101	6.73	6.88	3.865	-3.891	3.31	3.45	180.01	176.12		
6	0.292	8.27	0.208	-0.189	11.4	6.99	8.945	-5.273	0.451	8.34	0.326	-0.305	0.202	7.95	0.130	0.151	7.87	6.98	4.907	-4.854	3.91	3.50	180.01	175.10		
7	0.281	9.85	0.248	-0.176	10.8	7.08	8.053	-5.822	0.563	9.05	0.409	-0.373	0.197	8.50	0.129	0.147	7.47	7.09	4.895	-4.644	3.73	3.58	180.01	175.12		
8	0.288	12.2	0.233	-0.255	9.96	7.14	7.372	-5.507	0.656	9.97	0.486	-0.452	0.208	9.45	0.146	0.164	6.99	7.19	4.056	-4.383	3.47	3.65	180.01	175.51		
9	0.296	12.3	0.230	-0.267	9.38	7.21	6.743	-4.830	0.736	10.9	0.552	-0.520	0.251	12.5	0.182	0.200	6.63	7.32	4.182	-4.082	3.29	3.71	180.01	175.83		
10	0.286	14.8	0.244	-0.370	8.69	7.27	6.318	-4.798	0.802	11.4	0.583	-0.554	0.325	16.9	0.249	0.240	6.26	7.41	4.157	-4.081	3.11	3.87	180.01	175.86		
11	0.261	11.1	0.161	-0.261	6.23	7.44	4.105	-4.033	0.864	13.1	0.578	-0.560	0.463	18.6	0.284	0.253	5.52	7.48	3.804	-3.652	2.76	3.87	180.01	176.21		
12	0.257	11.6	0.143	-0.265	4.93	7.52	3.338	-3.347	0.880	14.4	0.617	-0.587	0.553	18.9	0.367	0.306	4.57	7.96	3.229	-2.963	2.28	4.41	180.01	176.78		
13	0.252	11.2	0.126	-0.285	3.98	7.67	2.874	-2.822	0.898	15.4	0.645	-0.587	0.627	18.9	0.403	0.408	2.96	8.21	2.291	-2.504	1.84	4.29	180.01	177.29		
14	0.245	11.2	0.131	-0.261	3.42	7.66	2.973	-2.709	0.925	18.0	0.661	-0.603	0.666	18.9	0.421	0.422	2.55	8.41	2.197	-2.209	1.34	5.05	180.01	177.71		
15	0.240	11.4	0.150	-0.255	3.49	7.65	3.072	-2.800	0.955	19.4	0.670	-0.616	0.689	18.9	0.436	0.430	2.35	8.08	2.223	-2.247	1.35	5.12	180.01	177.76		

表-4.3-3 吊荷の動揺量(計算値、吊荷あり)

波高 (m)	波向 (°)	波周期 (s)	TRX(m)				TRY(m)				TRZ(m)				TT(tf)					
			X _{1/3}	T _{1/3}	MAX	MIN	Y _{1/3}	T _{1/3}	MAX	MIN	Z _{1/3}	T _{1/3}	MAX	MIN	φ _{1/3}	T _{1/3}	MAX	MIN		
1.0	0	5	0.374	35.4	-0.059	-0.768	0.007	6.9	0.005	-0.004	0.367	7.48	0.259	-0.265	54.7	7.10	1972.4	1891.2		
		6	0.458	34.4	0.053	-0.814	0.009	7.09	0.006	-0.005	0.675	8.38	0.429	-0.477	80.3	7.70	1990.0	1874.4		
		7	0.588	22.9	0.221	-0.966	0.009	7.31	0.006	-0.006	0.964	9.35	0.642	-0.468	96.3	8.39	1998.7	1864.8		
		8	1.17	18.3	0.664	-1.268	0.010	11.0	0.008	-0.008	1.28	10.2	0.828	-0.881	110	9.08	2007.7	1855.9		
		9	2.86	18.9	1.746	-2.078	0.021	18.4	0.013	-0.012	1.55	10.7	1.029	-1.039	118	9.49	2012.7	1852.5		
		10	5.06	18.8	3.081	-3.087	0.032	18.9	0.021	-0.019	1.76	11.0	1.228	-1.178	122	10.1	2015.3	1850.4		
		11	6.95	18.9	4.120	-3.997	0.045	19.1	0.031	-0.029	1.92	11.5	0.375	-1.280	124	10.5	2015.3	1850.1		
		12	8.25	19.0	4.980	-4.803	0.060	19.3	0.040	-0.037	2.01	12.0	0.482	-1.358	124	10.7	2013.9	1849.2		
		13	9.43	19.1	5.695	-5.533	0.076	19.5	0.048	-0.047	2.07	12.5	1.551	-1.408	121	10.8	2011.4	1850.1		
		14	10.3	19.2	6.231	-6.118	0.094	19.6	0.059	-0.057	2.08	13.0	1.581	-1.421	117	11.0	2007.9	1852.5		
		15	11.0	19.3	6.612	-6.542	0.100	19.7	0.068	-0.061	2.06	13.2	1.587	-1.407	113	11.0	2003.4	1856.2		
		16	11.4	19.3	6.766	-6.758	0.115	19.8	0.074	-0.066	2.02	13.8	1.581	-1.370	107	11.1	1998.7	1860.5		
		1.0	15	5	0.320	28.8	-0.084	-0.733	0.110	29.7	-0.098	-0.353	0.397	7.51	0.271	-0.281	58.5	7.13	1973.8	1889.4
				6	0.405	24.7	0.013	-0.791	0.157	34.2	-0.040	-0.364	0.713	8.33	0.461	-0.504	85.8	7.72	1992.6	1870.5
				7	0.556	18.4	0.116	-0.929	0.158	27.5	-0.008	-0.346	1.01	9.17	0.679	-0.708	102	8.31	2002.2	1860.4
				8	1.13	17.9	0.564	-1.209	0.300	22.2	0.129	-0.407	1.32	10.1	0.869	-0.901	114	8.94	2010.9	1852.0
9	2.69			18.8	1.613	-1.975	0.709	18.9	0.358	-0.575	1.58	10.7	1.058	-1.055	122	9.41	2015.3	1849.0		
10	4.75			18.9	2.891	-2.926	1.20	19.1	0.778	-0.774	1.79	11.0	1.242	-1.186	125	9.93	2017.0	1846.8		
11	6.48			18.9	3.875	-3.671	1.67	19.3	1.158	-0.947	1.94	11.5	1.390	-1.279	126	10.4	2016.3	1847.3		
12	7.69			19.0	4.680	-4.469	2.17	19.4	1.501	-1.240	2.03	12.0	1.493	-1.355	126	10.6	2014.7	1848.2		
13	8.84			19.1	5.395	-5.149	2.69	19.5	1.841	-1.505	2.08	12.5	1.558	-1.403	123	10.7	2011.8	1849.3		
14	9.70			19.1	5.923	-5.708	3.13	19.6	2.123	-1.684	2.09	13.0	1.584	-1.414	118	10.9	2007.9	1851.9		
15	10.4			19.3	6.286	-6.115	3.41	19.6	2.330	-1.768	2.07	13.2	1.585	-1.399	113	11.0	2000.3	1855.6		
16	10.7			19.3	6.429	-6.330	3.42	19.6	2.400	-1.729	2.03	13.8	1.586	-1.361	108	11.1	1998.4	1860.1		
1.0	30			5	0.280	27.7	-0.105	-0.712	0.264	33.7	0.084	-0.512	0.496	7.42	0.337	-0.344	72.9	7.18	1980.9	1880.4
				6	0.380	19.5	-0.009	-0.738	0.383	39.2	0.207	-0.533	0.833	8.21	0.556	-0.587	103	7.65	2003.7	1857.7
				7	0.538	13.9	0.085	-0.868	0.394	29.4	0.248	-0.534	1.11	9.05	0.776	-0.782	119	8.15	2013.4	1848.2
				8	1.01	16.1	0.475	-1.161	0.654	25.8	0.515	-0.716	1.40	9.91	0.972	-0.956	127	8.67	2019.8	1840.8
		9	2.31	18.8	1.380	-1.793	1.35	19.2	0.891	-1.090	1.64	10.5	1.146	-1.091	132	9.28	2021.9	1838.5		
		10	4.01	18.9	2.485	-2.557	2.21	19.2	1.459	-1.421	1.83	10.9	1.271	-1.203	132	9.5	2021.5	1838.0		
		11	5.44	18.9	3.298	-3.092	2.97	19.3	1.950	-1.706	1.97	11.4	1.405	-1.280	131	10.2	2019.0	1840.4		
		12	6.40	19.0	3.976	-3.646	3.66	19.5	2.598	-2.211	2.06	11.9	1.494	-1.342	129	10.5	2016.0	1844.8		
		13	7.31	19.2	4.570	-4.195	4.60	19.5	3.164	-2.694	2.10	12.4	1.552	-1.377	125	10.6	2012.3	1848.8		
		14	8.04	19.1	5.020	-4.671	5.56	19.6	3.660	-2.963	2.10	13.2	1.570	-1.385	119	10.8	2007.6	1851.5		
		15	8.59	19.3	5.230	-5.029	6.01	19.6	3.886	-3.076	2.08	13.7	1.578	-1.361	113	11.0	2002.3	1855.6		
		16	8.89	19.4	5.419	-5.246	6.09	19.6	4.034	-3.086	2.03	13.6	1.584	-1.324	108	11.1	1997.1	1859.9		
		1.0	45	5	0.259	22.4	-0.098	-0.672	0.490	40.0	0.406	-0.689	0.626	7.32	0.425	-0.427	92.9	7.16	1992.8	1866.7
				6	0.401	16.8	0.037	-0.719	0.600	42.8	0.674	-0.654	0.977	7.99	0.670	-0.691	125	7.54	2018.5	1841.1
				7	0.524	11.4	0.111	-0.765	0.704	35.7	0.709	-0.669	1.21	8.87	0.876	-0.858	135	7.99	2026.7	1835.0
				8	0.900	15.4	0.394	-1.041	1.00	32.0	1.064	-0.905	1.45	9.54	1.054	-0.999	140	8.51	2029.3	1829.7
9	1.01			18.8	1.073	-1.511	1.76	20.9	1.519	-1.274	1.66	10.4	1.199	-1.105	139	8.92	2028.0	1829.6		
10	3.12			18.8	1.903	-2.020	2.81	19.3	2.007	-1.768	1.82	10.8	1.296	-1.192	136	9.57	2025.6	1832.3		
11	4.07			18.7	2.508	-2.334	3.69	19.3	2.484	-2.092	1.93	11.4	1.359	-1.239	132	10.1	2019.7	1836.5		
12	4.75			19.0	3.039	-2.655	4.74	19.4	3.108	-2.608	2.01	11.9	1.436	-1.281	128	10.4	2014.8	1842.4		
13	5.37			19.1	3.471	-3.043	5.85	19.5	3.852	-3.202	2.03	12.4	1.476	-1.302	123	10.6	2009.8	1849.2		
14	5.90			19.1	3.843	-3.353	6.72	19.6	4.420	-3.533	2.03	13.2	1.488	-1.297	116	10.7	2004.4	1853.4		
15	6.30			19.3	4.060	-3.620	7.19	19.6	4.649	-3.775	2.00	13.5	1.523	-1.282	110	10.9	1998.5	1856.8		
16	6.51			19.4	4.166	-3.819	7.22	19.6	4.696	-3.812	1.96	14.0	1.525	-1.259	104	11.1	1993.2	1860.8		

表-4.3-4 吊荷の動揺量 (計算値、吊荷あり)

波高 (m)	波向 (°)	波周期 (s)	TRX(m)				TRY(m)				TRZ(m)				TT(t)					
			X _{1/3}	T _{1/3}	MAX	MIN	Y _{1/3}	T _{1/3}	MAX	MIN	Z _{1/3}	T _{1/3}	MAX	MIN	φ _{1/3}	T _{1/3}	MAX	MIN		
1.0	60	5	0.226	12.7	-0.032	-0.491	0.865	32.7	1.140	-0.808	0.650	7.28	0.458	-0.449	98.2	7.04	1998.3	1859.0		
		6	0.352	11.2	0.133	-0.550	1.13	40.9	1.523	-0.798	0.983	7.84	0.693	-0.698	128	7.47	2023.6	1836.8		
		7	0.453	10.8	0.185	-0.620	1.10	36.2	1.613	-0.777	1.17	8.75	0.856	-0.827	133	7.91	2028.6	1835.8		
		8	0.707	14.5	0.356	-0.803	1.32	32.3	1.698	-1.093	1.35	9.51	1.000	-0.931	134	8.37	2028.3	1835.2		
		9	1.37	18.4	0.821	-1.138	1.98	20.3	2.035	-1.337	1.51	10.3	1.113	-1.021	130	8.89	2024.7	1838.5		
		10	2.18	18.6	1.364	-1.495	2.93	19.3	2.486	-2.111	1.64	10.9	1.184	-1.096	125	9.55	2020.1	1844.1		
		11	2.70	18.8	1.686	-1.598	3.66	19.1	2.861	-2.112	1.73	11.6	1.199	-1.116	119	10.1	2014.3	1848.9		
		12	3.14	19.0	2.073	-1.794	4.55	19.4	3.319	-2.489	1.79	12.0	1.257	-1.120	114	10.4	2007.7	1853.8		
		13	3.52	19.1	2.393	-2.045	5.49	19.5	3.805	-2.894	1.81	12.5	1.283	-1.128	108	10.6	2001.2	1859.2		
		14	3.85	19.2	2.649	-2.241	6.19	19.7	4.197	-3.344	1.80	13.5	1.311	-1.145	102	10.8	1996.9	1863.6		
		15	4.10	19.4	2.776	-2.353	6.55	19.7	4.348	-3.499	1.79	13.6	1.343	-1.153	96.0	11.0	1991.9	1866.5		
		16	4.21	19.5	2.850	-2.514	6.55	19.7	3.433	-3.526	1.74	14.3	1.353	-1.138	90.3	11.2	1987.5	1869.2		
		1.0	75	5	0.151	11.9	0.060	-0.236	1.43	13.2	2.061	-0.763	0.484	7.20	0.346	-0.338	80.5	6.03	1998.6	1874.4
				6	0.235	10.6	0.168	-0.252	1.69	12.6	2.448	-0.806	0.762	8.04	0.555	-0.532	109	6.52	2038.5	1852.7
				7	0.296	10.2	0.187	-0.322	1.63	14.7	2.510	-0.765	0.905	8.89	0.671	-0.613	113	7.48	2034.1	1859.2
				8	0.444	13.8	0.336	-0.426	1.68	18.1	2.491	-1.034	1.05	9.76	0.777	-0.679	110	8.12	2025.5	1856.2
9	0.837			18.7	0.561	-0.647	2.04	17.8	2.349	-1.442	1.16	10.6	0.860	-0.777	105	8.80	2018.1	1856.4		
10	1.27			18.6	0.826	-0.936	2.80	19.4	2.528	-2.276	1.27	11.1	0.907	-0.831	99.8	9.57	2011.2	1862.0		
11	1.51			18.6	0.979	-0.955	3.15	19.2	2.897	-1.844	1.34	11.5	0.916	-0.845	93.8	10.1	2003.9	1871.2		
12	1.79			18.9	1.233	-1.075	3.56	19.4	2.995	-2.009	1.37	12.2	0.961	-0.611	87.5	10.6	1993.9	1875.9		
13	2.02			19.1	1.390	-1.307	4.02	19.3	3.160	-2.278	1.39	12.8	0.993	-0.861	81.6	10.8	1985.2	1879.3		
14	2.23			19.1	1.537	-1.466	4.34	20.1	3.309	-2.544	1.40	14.2	1.012	-0.885	76.0	11.0	1980.2	1882.7		
15	2.35			19.2	1.570	-1.513	4.45	20.1	3.170	-2.556	1.39	14.8	1.023	-0.894	71.3	11.2	1977.0	1885.5		
16	2.40			19.4	1.606	-1.546	4.34		3.027	-2.527	1.37	15.3	1.046	-0.888	67.2	11.4	1973.4	1886.3		
1.0	90			5	0.0602	24.4	0.079	-0.044	1.83	8.91	2.654	-0.736	0.250	6.89	0.257	-0.161	92.5	3.55	2003.8	1863.8
				6	0.107	41.1	0.094	-0.106	2.18	9.54	3.025	-0.792	0.494	8.10	0.443	-0.301	125	3.72	2052.0	1830.3
				7	0.123	34.9	0.141	-0.143	2.04	9.19	2.943	-0.660	0.588	8.80	0.548	-0.354	116	4.05	2044.1	1828.1
				8	0.177	34.9	0.159	-0.198	1.98	12.1	2.834	-0.996	0.676	10.1	0.593	-0.401	104	4.61	2028.0	1839.5
		9	0.291	26.9	0.208	-0.290	2.11	13.2	2.471	-1.356	0.750	10.8	0.619	-0.435	93.8	5.11	2016.5	1851.9		
		10	0.418	21.6	0.291	-0.391	2.31	14.5	2.431	-2.110	0.816	11.4	0.677	-0.470	83.6	5.66	2011.8	1862.9		
		11	0.499	19.0	0.327	-0.369	2.24	15.5	2.464	-1.403	0.855	12.0	0.669	-0.525	69.8	6.28	1997.0	1870.9		
		12	0.651	19.1	0.443	-0.439	2.11	16.3	2.159	-1.535	0.871	12.9	0.622	-0.547	58.4	8.36	1981.7	1882.4		
		13	0.811	19.2	0.488	-0.567	2.12	18.7	2.035	-1.616	0.891	14.5	0.644	-0.544	53.1	10.5	1973.0	1891.7		
		14	0.940	19.2	0.495	-0.645	2.17	20.9	1.931	-1.615	0.905	15.4	0.665	-0.563	47.6	11.1	1697.9	1897.6		
		15	1.01	19.1	0.495	-0.679	2.13	21.7	1.696	-1.441	0.926	17.8	0.676	-0.589	43.4	11.7	1965.5	1901.9		
		16	1.07	19.1	0.522	-0.707	2.13	23.6	1.441	-1.416	0.948	19.3	0.673	-0.592	41.6	11.9	1963.3	1906.1		

- ☆SURGE : サージング
- ☆SWAY : スウェイング
- ☆HEAVE : ヒープ
- ☆ROLL : ローリング
- ☆PITCH : ピッチング
- ☆YAW : ヨウイング
- ☆ANGX : 吊荷の振れ角 (X軸に対するもの)
- ☆ANGY : 吊荷の振れ角 (Y軸に対するもの)
- ☆ANGZ : 吊荷の振れ角 (Z軸に対するもの)
- ☆TURIX : シープブロック点の前後方向動揺量
(シープブロック点座標に対するもの)
- ☆TURIY : シープブロック点の左右方向動揺量
(シープブロック点座標に対するもの)
- ☆TURIZ : シープブロック点の上下方向動揺量
(シープブロック点座標に対するもの)
- ☆TRX : 吊荷の前後方向の動揺量
(吊荷座標に対するもの)
- ☆TRY : 吊荷の左右方向の動揺量
(吊荷座標に対するもの)
- ☆TRZ : 吊荷の上下方向の動揺量
(吊荷座標に対するもの)
- ☆TT : 吊荷張力

ただし、前後方向はX方向、左右方向はY方向、上下方向はZ方向である。

なお、たとえばシープブロック点の前後方向(X方向)変位のように変位と記述しているものは座標原点に対する変位をあらわしているが、シープブロック点の前後方向動揺量のように動揺量と記述しているものはシープブロック点座標に対する変位を示している。表中で $X_{1/3}$ などのように添字をつけたものは変位または動揺量の動揺両振幅などの有義値である。 $T_{1/3}$ は動揺の有義周期、MAXまたはMINは変位または動揺量の最大値または最小値である。

図-4.1~4.30はこれらの結果を図示したものである。図-4.1~4.12は吊荷がないときの起重機船の動揺量、図-4.13~4.24は吊荷があるときの起重機船の動揺量、図-4.25~4.30は吊荷の前後方向、左右方向およびシープブロック点の上下方向の動揺量である。

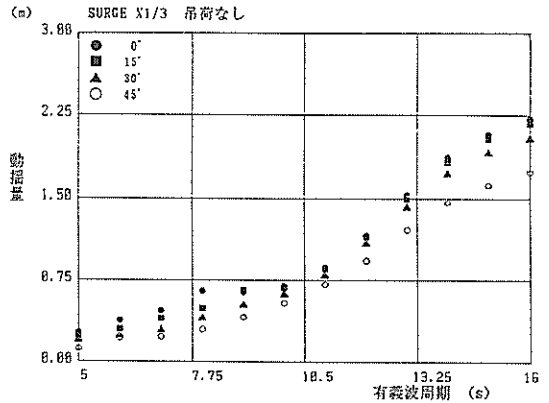


図-4.1 起重機船の動揺量
(サージング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1m$, 吊荷無し)

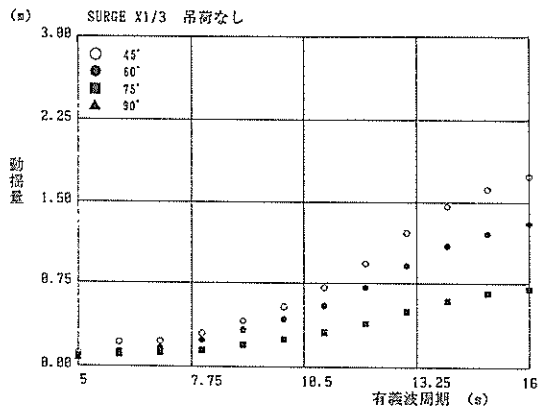


図-4.2 起重機船の動揺量
(サージング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1m$, 吊荷無し)

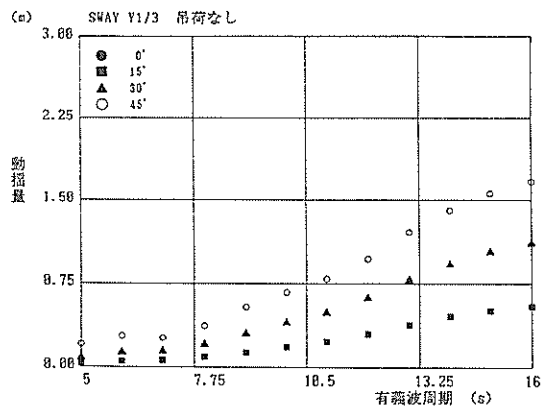


図-4.3 起重機船の動揺量
(スウェイング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1m$, 吊荷無し)

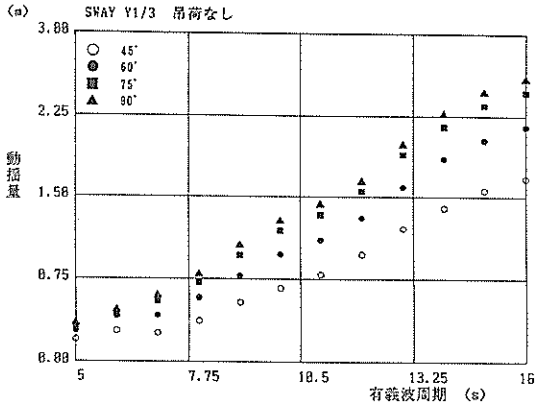


図-4.4 起重機船の動揺量

(スウェイング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1m$, 吊荷無し)

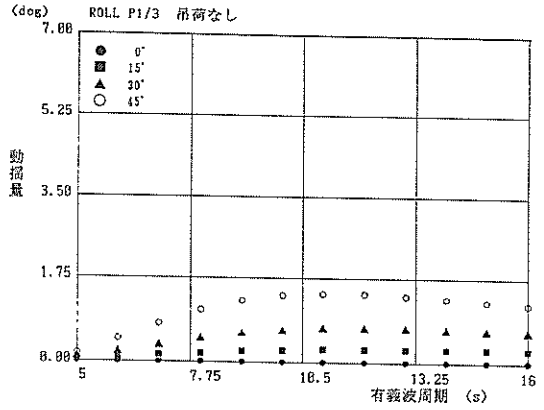


図-4.7 起重機船の動揺量

(ローリング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1m$, 吊荷無し)

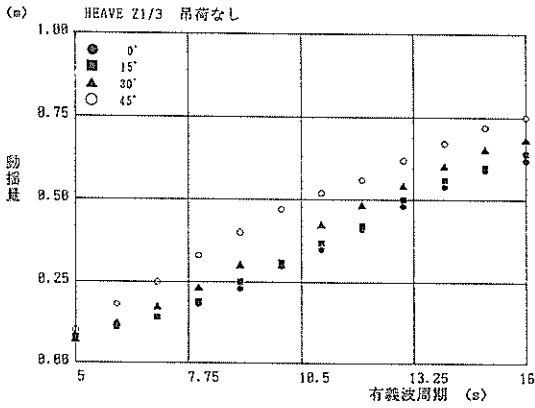


図-4.5 起重機船の動揺量

(ヒービング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1m$, 吊荷無し)

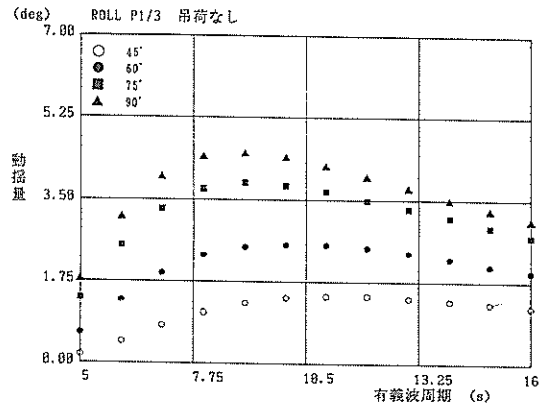


図-4.8 起重機船の動揺量

(ローリング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1m$, 吊荷無し)

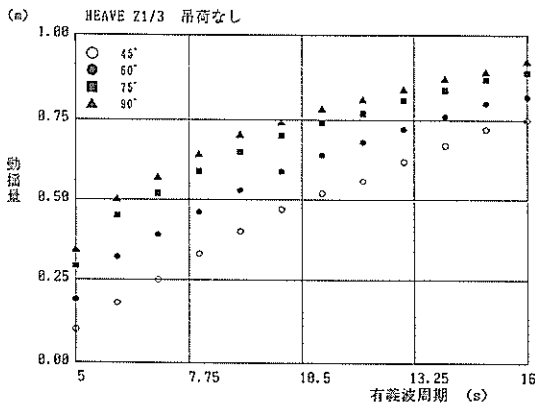


図-4.6 起重機船の動揺量

(ヒービング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1m$, 吊荷無し)

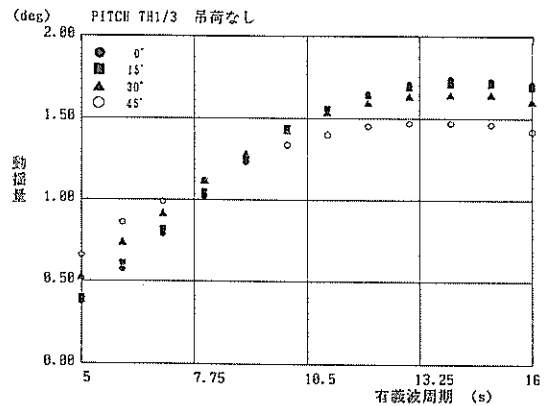


図-4.9 起重機船の動揺量

(ピッチング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1m$, 吊荷無し)

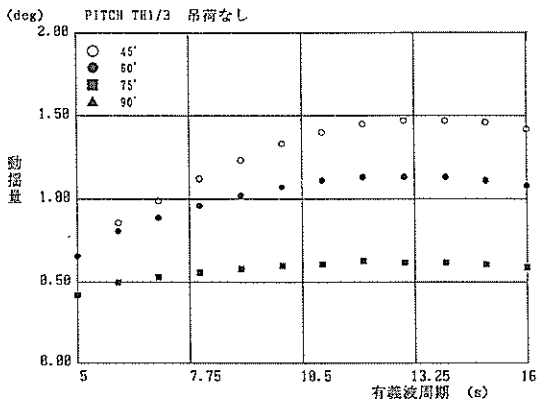


図-4.10 起重機船の動揺量
(ピッチング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1m$, 吊荷無し)

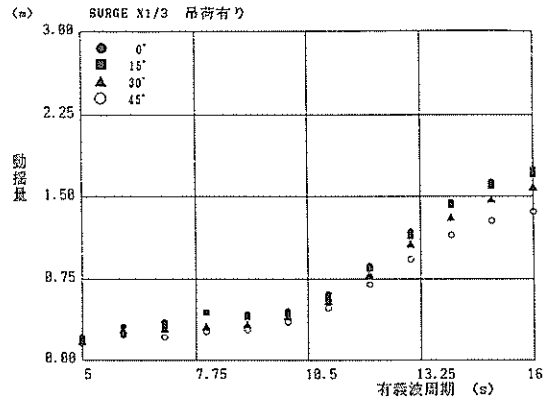


図-4.13 起重機船の動揺量
(サージング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1m$, 吊荷有り)

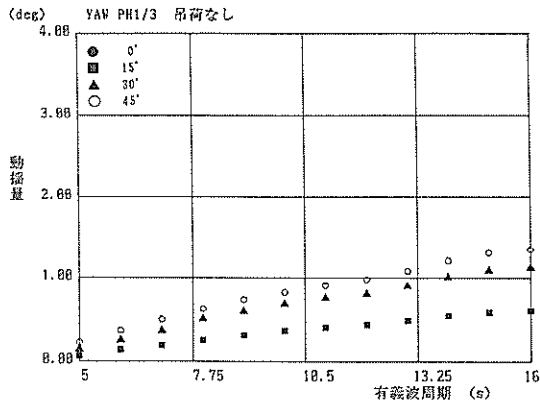


図-4.11 起重機船の動揺量
(ヨウイング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1m$, 吊荷無し)

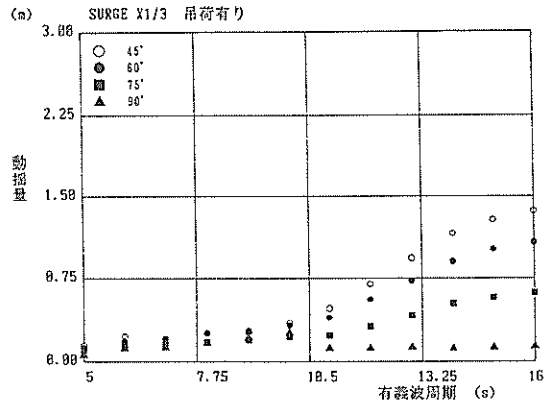


図-4.14 起重機船の動揺量
(サージング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1m$, 吊荷有り)

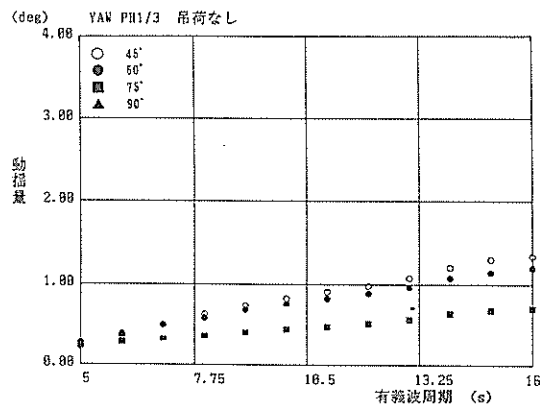


図-4.12 起重機船の動揺量
(ヨウイング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1m$, 吊荷無し)

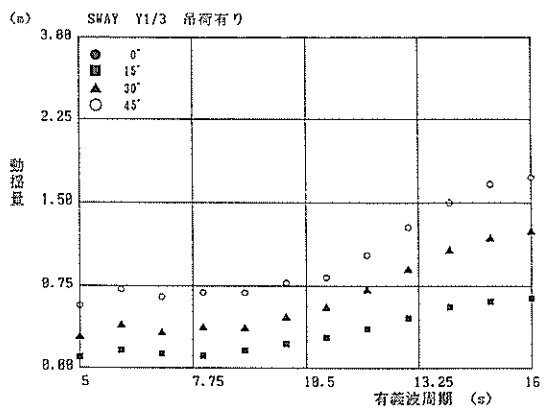


図-4.15 起重機船の動揺量
(スウェイング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1m$, 吊荷有り)

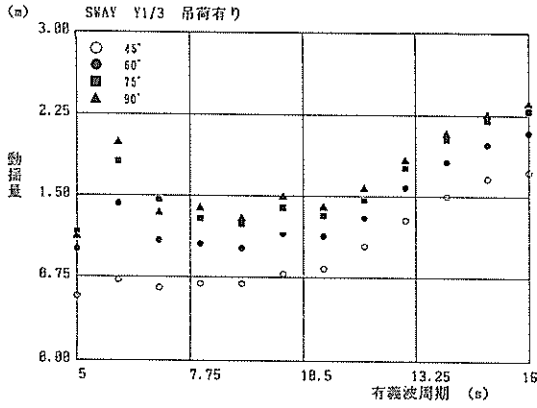


図-4.16 起重機船の動揺量

(スウェイング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1m$, 吊荷有り)

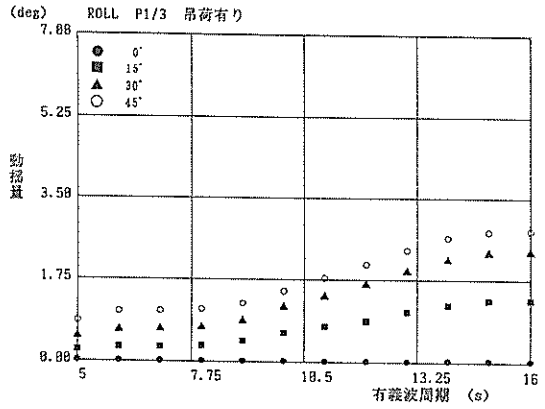


図-4.19 起重機船の動揺量

(ローリング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1m$, 吊荷有り)

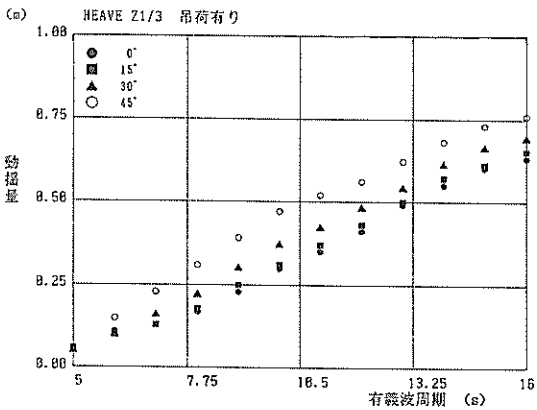


図-4.17 起重機船の動揺量

(ヒービング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1m$, 吊荷有り)

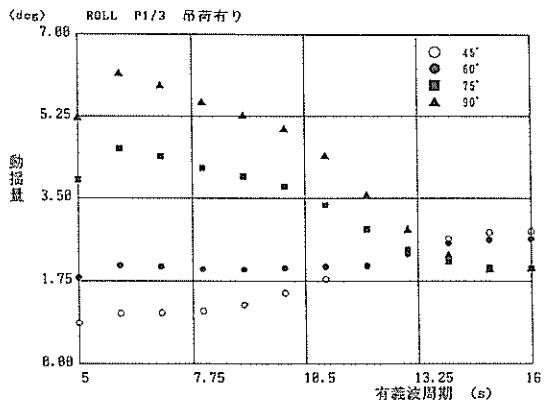


図-4.20 起重機船の動揺量

(ローリング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1m$, 吊荷有り)

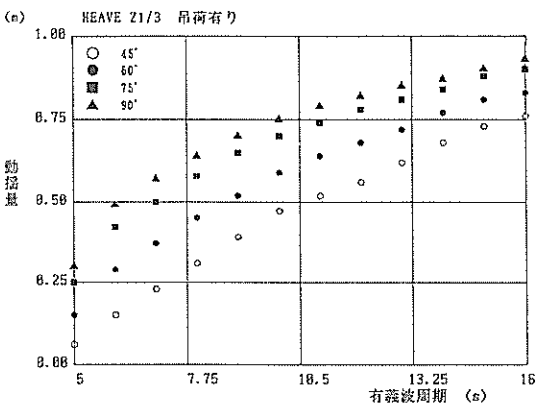


図-4.18 起重機船の動揺量

(ヒービング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1m$, 吊荷有り)

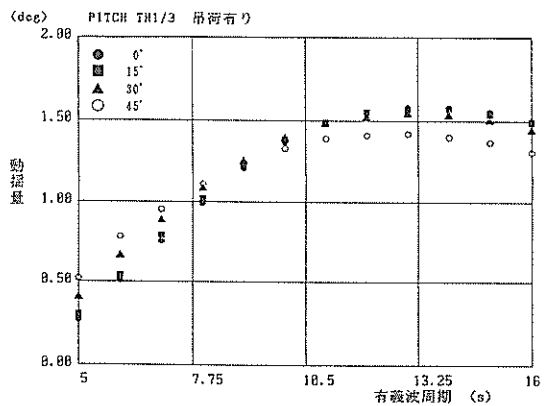


図-4.21 起重機船の動揺量

(ピッチング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1m$, 吊荷有り)

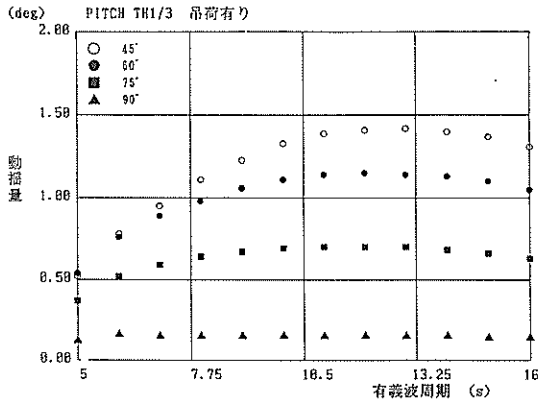


図-4.22 起重機船の動揺量
(ピッチング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1\text{m}$, 吊荷有り)

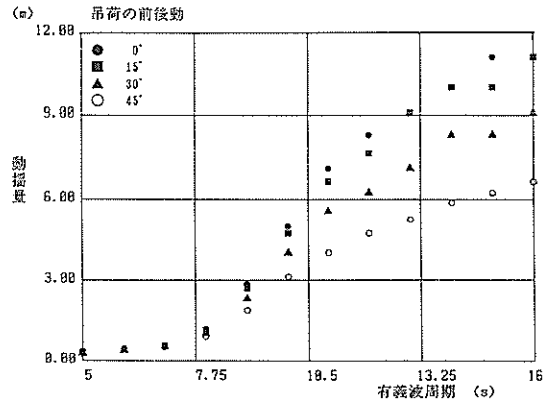


図-4.25 吊荷の前後動
(計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1\text{m}$, 吊荷有り)

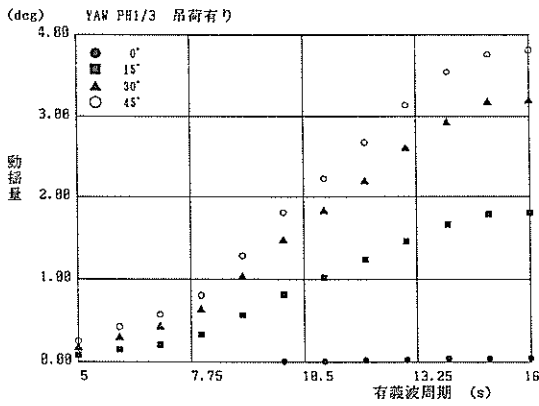


図-4.23 起重機船の動揺量
(ヨウイング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1\text{m}$, 吊荷有り)

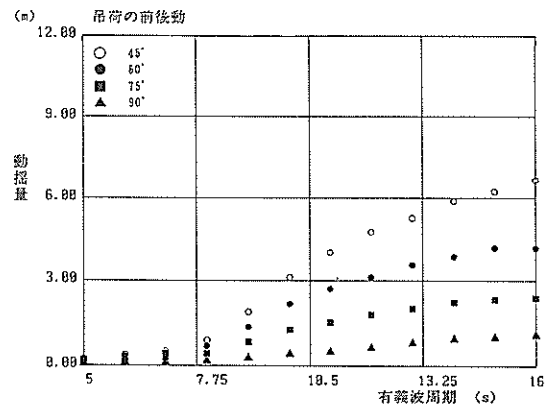


図-4.26 吊荷の前後動
(計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1\text{m}$, 吊荷有り)

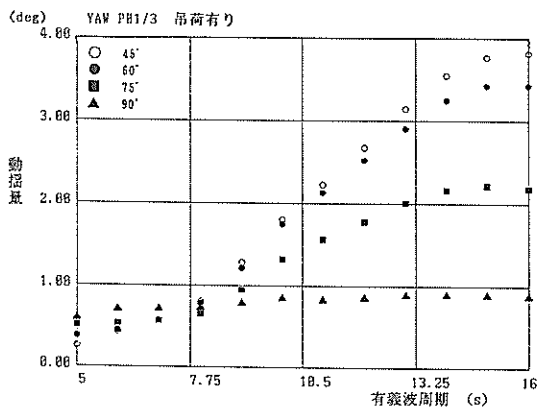


図-4.24 起重機船の動揺量
(ヨウイング, 計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1\text{m}$, 吊荷有り)

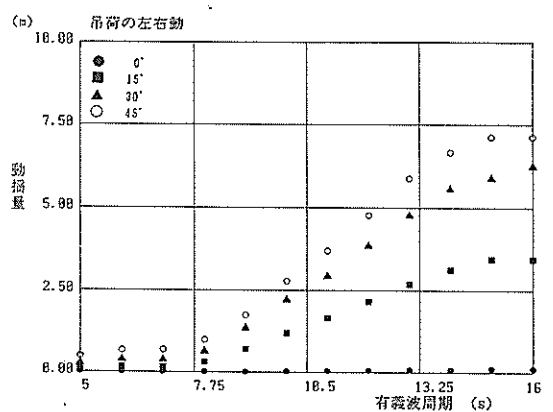


図-4.27 吊荷の左右動
(計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1\text{m}$, 吊荷有り)

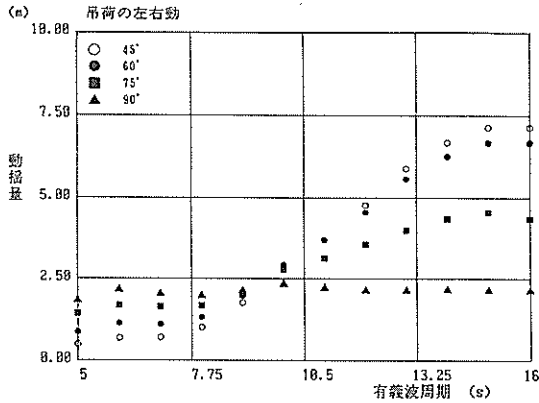


図-4.28 吊荷の左右動
(計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1\text{m}$, 吊荷有り)

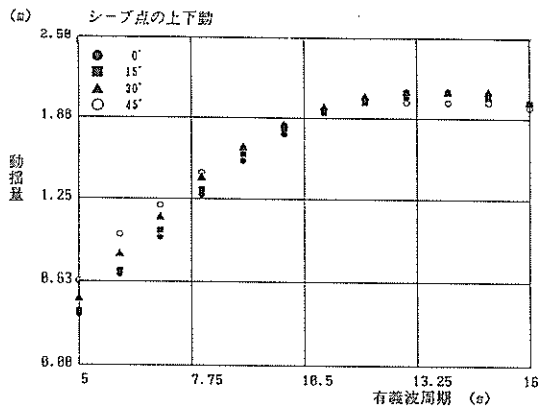


図-4.29 シーブ点の上下動
(計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1\text{m}$, 吊荷有り)

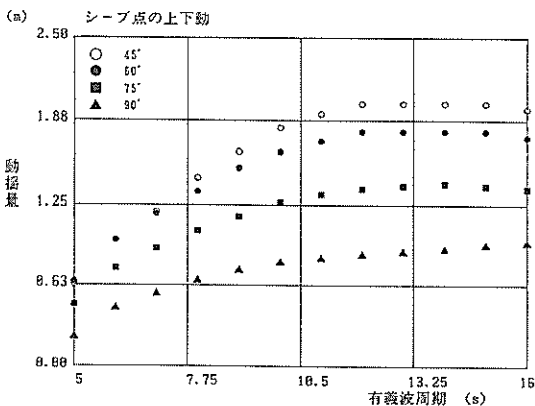


図-4.30 シーブ点の上下動
(計算値, 不規則波 $H_{1/3}=1\text{m}$, 吊荷有り)

4.4 稼働限界の波浪条件

1) 起重機船, 吊荷およびシーブブロック点の許容動揺量

従来起重機船稼働限界条件としてシーブブロック点の動揺両振幅の有義値を1.0mとするものが多いので, ここではこれに基づき, 起重機船, 吊荷およびシーブブロック点の許容動揺量を以下のように仮定する。なお, 起重機船, 吊荷およびシーブブロック点の許容動揺量として, ここで設定したものと異なる値を用いる場合には, これに基づいて稼働限界の設定を行う必要がある。そこで, 本報告において以下に示すものは稼働限界の波浪条件を求める資料として位置付ける。

a. 起重機船の許容動揺量

- ①サージングの動揺両振幅の有義値 1 m
- ②スウェイングの動揺両振幅の有義値 1 m
- ③ヒービングの動揺両振幅の有義値 1 m
- ④ローリングの動揺両振幅の有義値 2°
- ⑤ピッチングの動揺両振幅の有義値 1°
- ⑥ヨウイングの動揺両振幅の有義値 1°

b. 吊荷の許容動揺量

- ⑦X方向の動揺両振幅の有義値 1 m
- ⑧Y方向の動揺両振幅の有義値 1 m

c. シーブブロック点の許容動揺量

- ⑨Z方向の動揺両振幅の有義値 1 m

なお, 計算によると吊荷の上下方向の動揺量とシーブブロック点の上下方向の動揺量とはほとんど同一の値を示すので, ここではシーブブロック点の上下方向動揺両振幅の有義値を指標として稼働限界波高を求めた。

2) 稼働限界の波浪条件

図-4.31~4.60は前項で仮に定めた起重機船, 吊荷およびシーブブロック点の許容動揺量に基づいて, 動揺シミュレーション結果を用いて求めた起重機船の稼働限界の波浪条件を波周期に対して示したものである。図-4.31~4.32は吊荷がないときの起重機船の動揺量から求めた稼働限界の波高である。また, 図-4.33~4.54は吊荷があるときの起重機船の動揺量から求めた稼働限界の波高である。さらに, 図-4.55~4.60は吊荷のX方向, Y方向およびシーブブロック点のZ方向の動揺量から求めた稼働限界波高である。

なお, 起重機船および吊荷の動揺量の許容値として上記の値以外のものを用いるときには, 稼働限界の波浪条件は比例計算して求めれば良い。

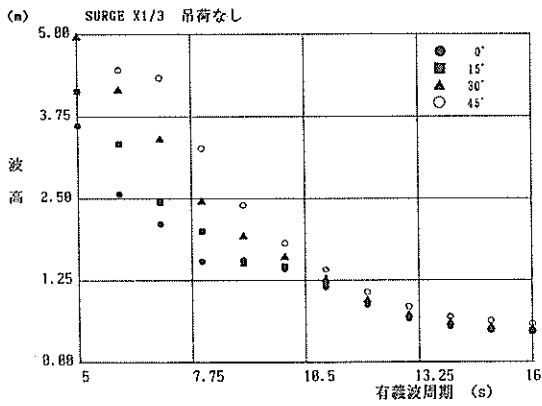


図-4.31 起重機船の稼働限界の波浪条件
(サージング, 吊荷無し)

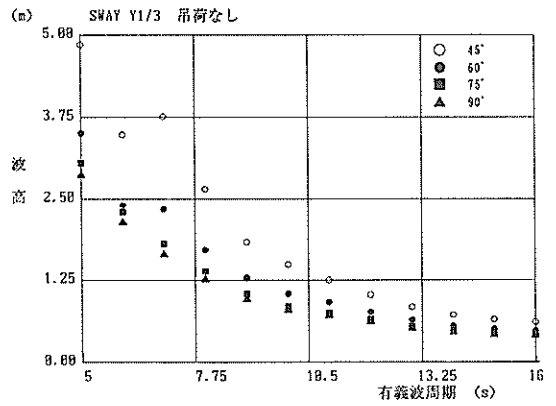


図-4.34 起重機船の稼働限界の波浪条件
(スウェイング, 吊荷無し)

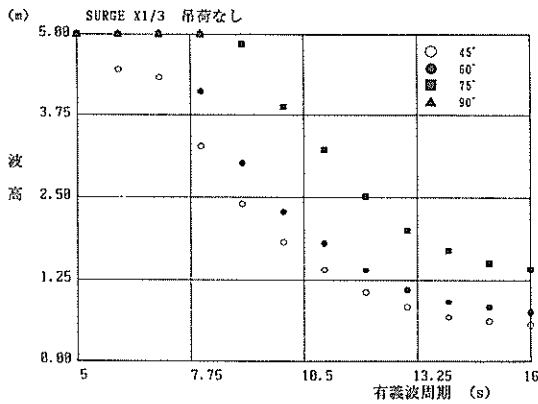


図-4.32 起重機船の稼働限界の波浪条件
(サージング, 吊荷無し)

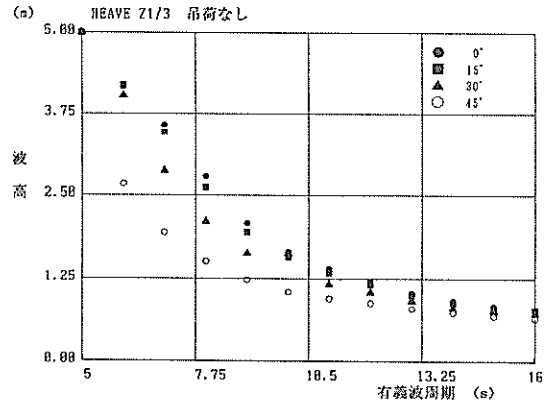


図-4.35 起重機船の稼働限界の波浪条件
(ヒービング, 吊荷無し)

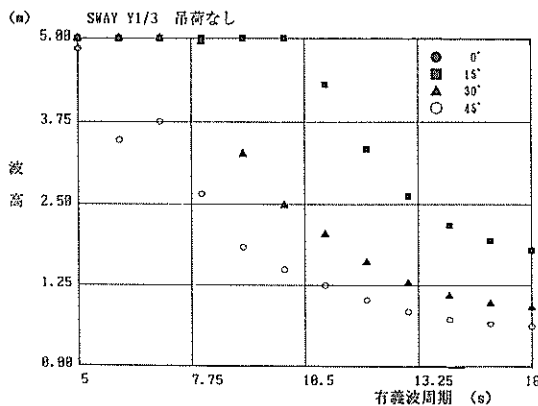


図-4.33 起重機船の稼働限界の波浪条件
(スウェイング, 吊荷無し)

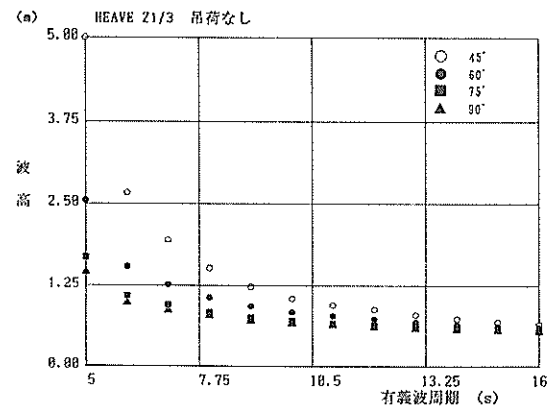


図-4.36 起重機船の稼働限界の波浪条件
(ヒービング, 吊荷無し)

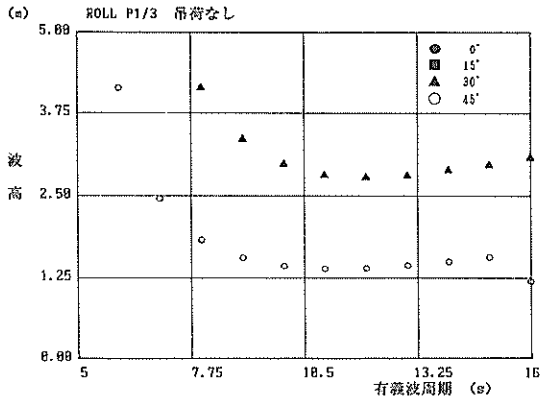


図-4.37 起重機船の稼働限界の波浪条件
(ローリング, 吊荷無し)

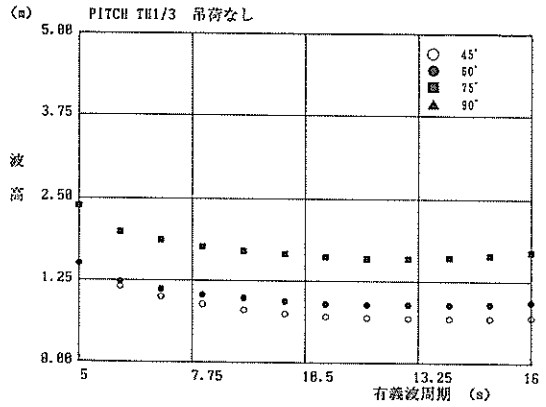


図-4.40 起重機船の稼働限界の波浪条件
(ピッチング, 吊荷無し)

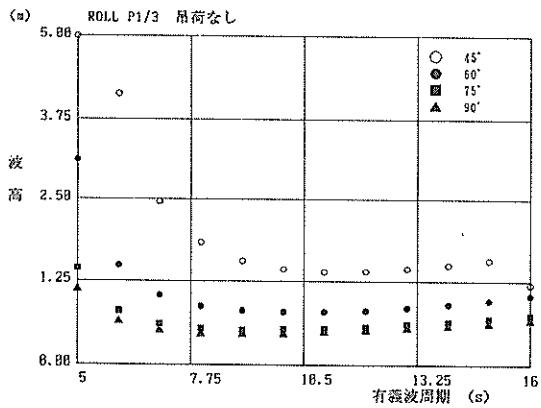


図-4.38 起重機船の稼働限界の波浪条件
(ローリング, 吊荷無し)

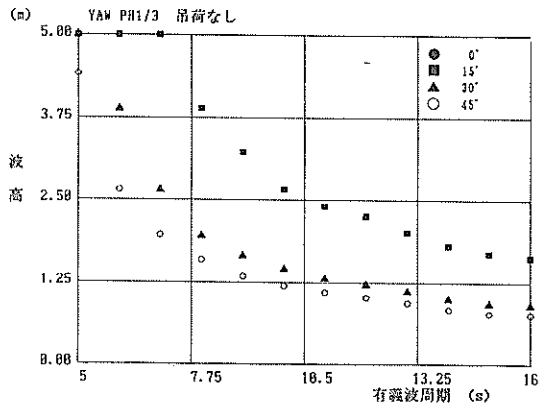


図-4.41 起重機船の稼働限界の波浪条件
(ヨウイング, 吊荷無し)

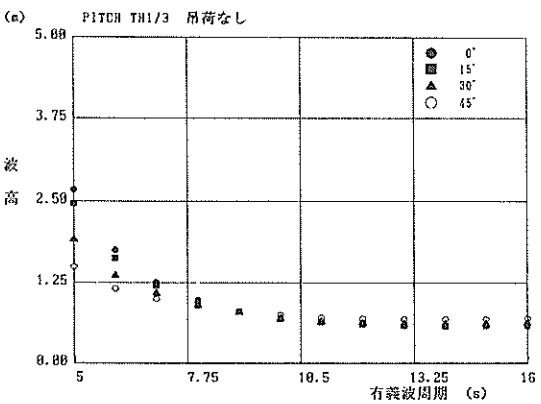


図-4.39 起重機船の稼働限界の波浪条件
(ピッチング, 吊荷無し)

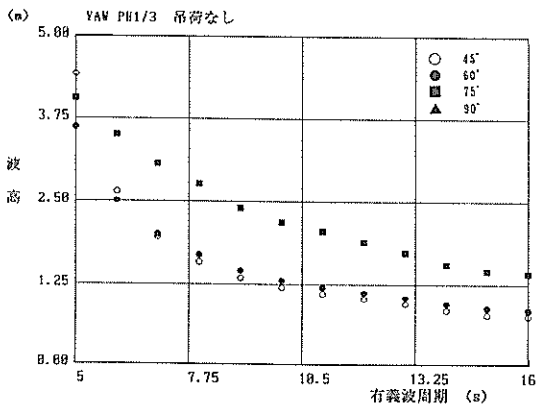


図-4.42 起重機船の稼働限界の波浪条件
(ヨウイング, 吊荷無し)

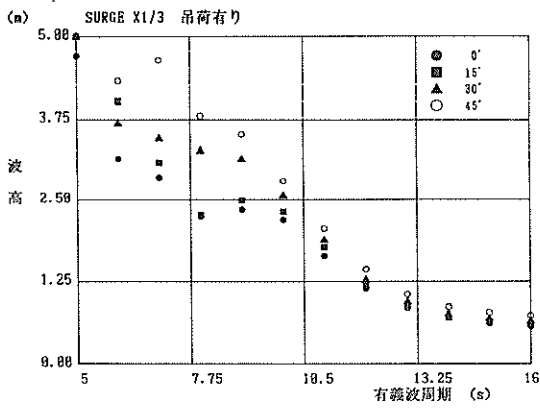


図-4.43 起重機船の稼働限界の波浪条件
(サージング, 吊荷有り)

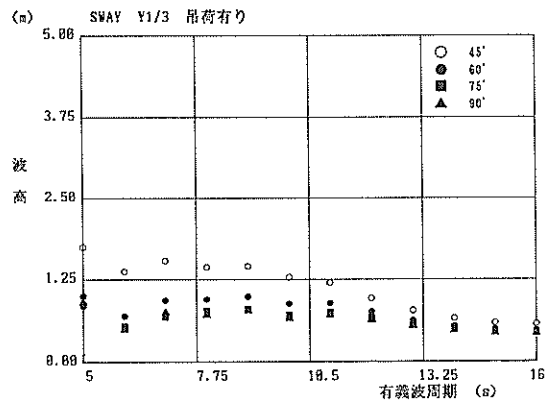


図-4.46 起重機船の稼働限界の波浪条件
(スウェイング, 吊荷有り)

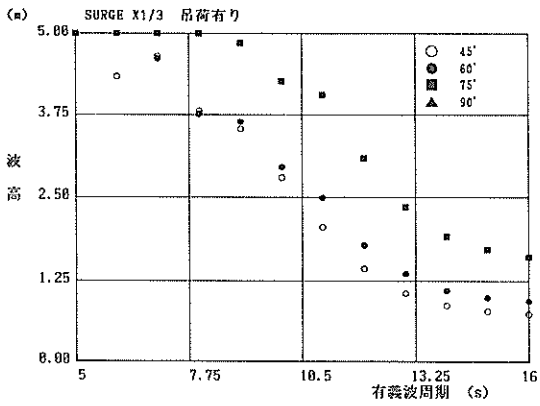


図-4.44 起重機船の稼働限界の波浪条件
(サージング, 吊荷有り)

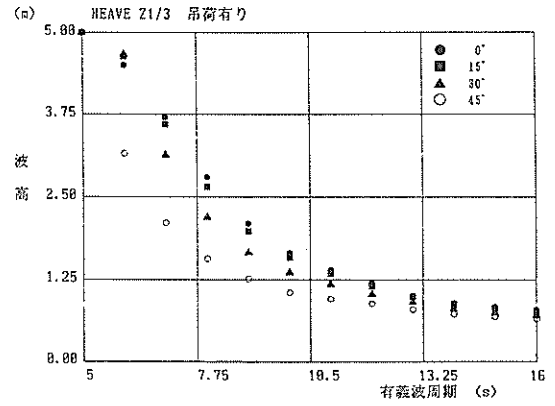


図-4.47 起重機船の稼働限界の波浪条件
(ヒービング, 吊荷有り)

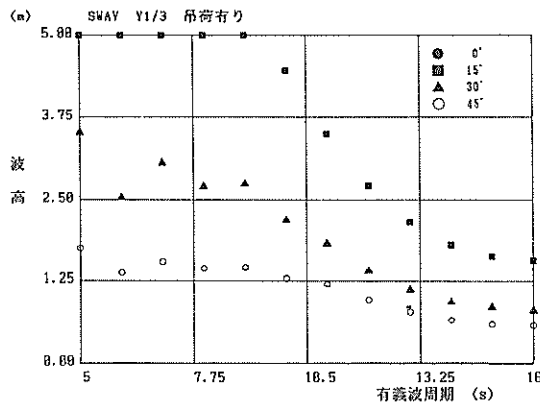


図-4.45 起重機船の稼働限界の波浪条件
(スウェイング, 吊荷有り)

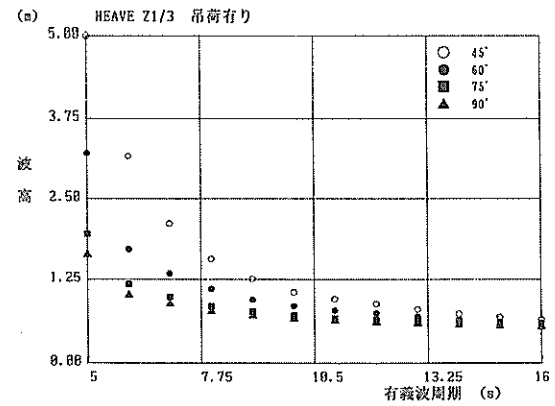


図-4.48 起重機船の稼働限界の波浪条件
(ヒービング, 吊荷有り)

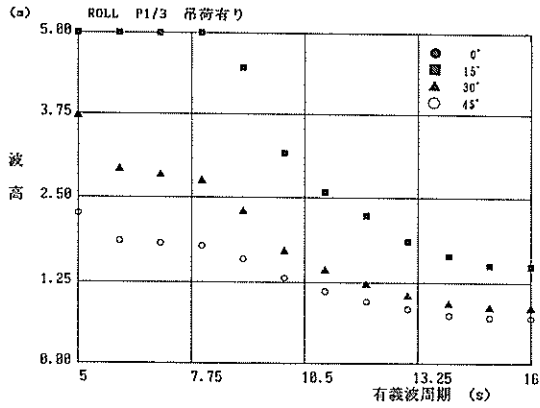


図-4.49 起重機船の稼働限界の波浪条件
(ローリング, 吊荷有り)

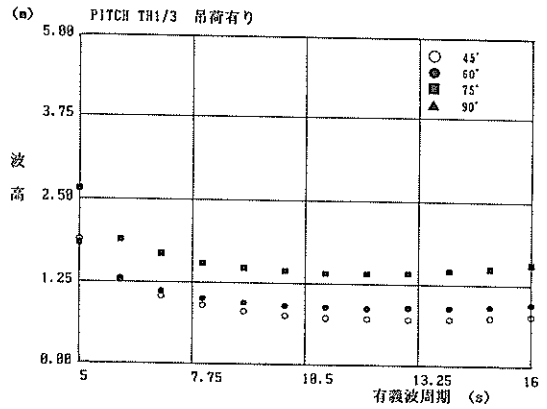


図-4.52 起重機船の稼働限界の波浪条件
(ピッチング, 吊荷有り)

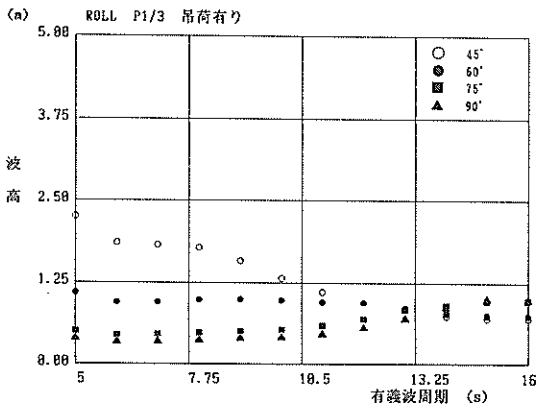


図-4.50 起重機船の稼働限界の波浪条件
(ローリング, 吊荷有り)

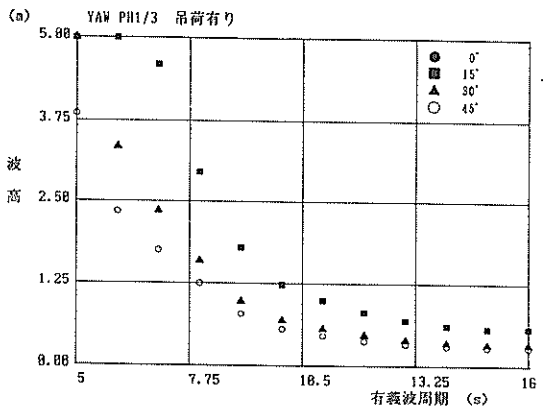


図-4.53 起重機船の稼働限界の波浪条件
(ヨウイング, 吊荷有り)

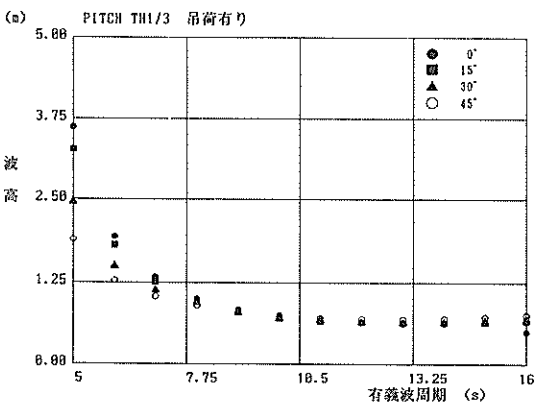


図-4.51 起重機船の稼働限界の波浪条件
(ピッチング, 吊荷有り)

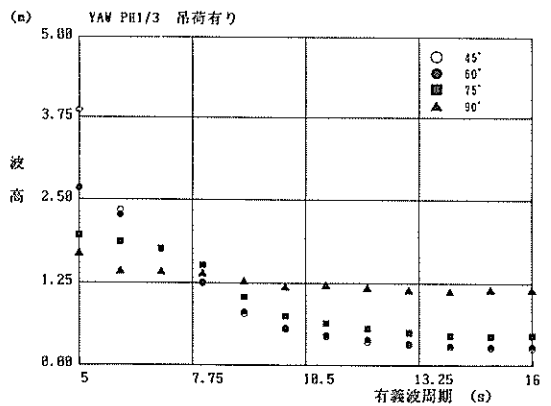
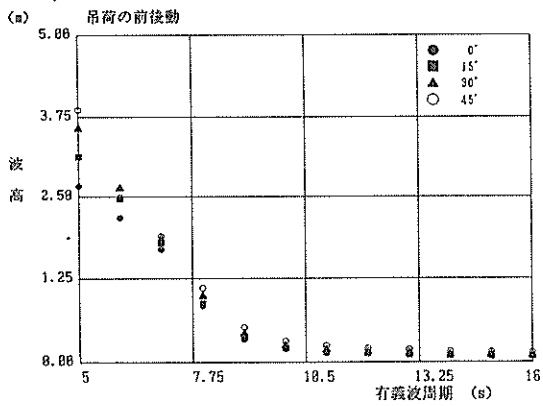
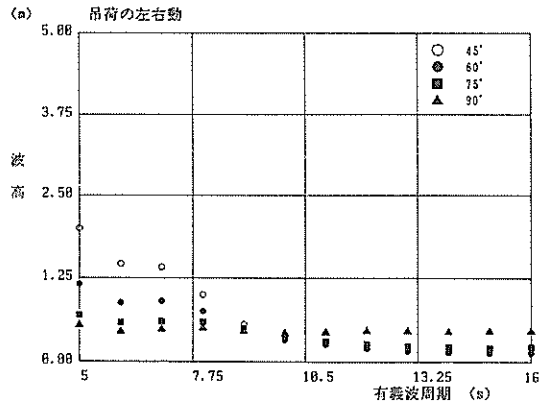


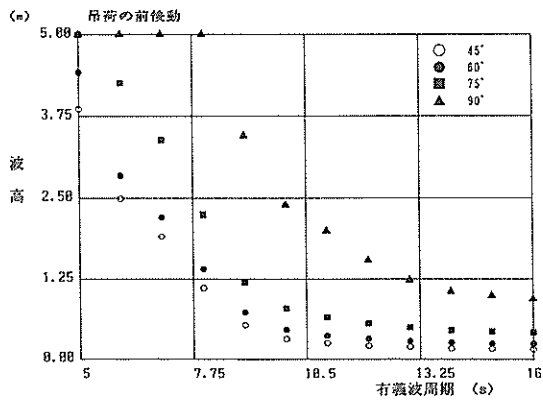
図-4.54 起重機船の稼働限界の波浪条件
(ヨウイング, 吊荷有り)



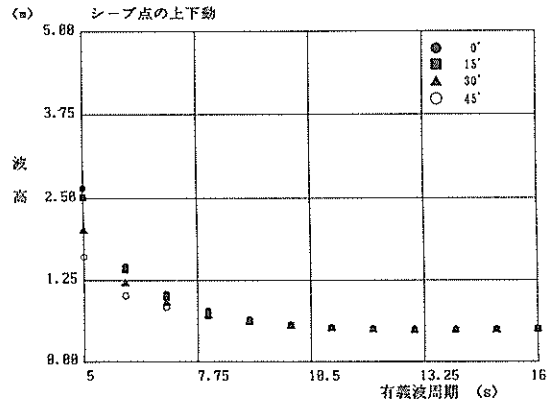
図一4.55 起重機船の稼働限界の波浪条件
(吊荷の前後動, 吊荷有り)



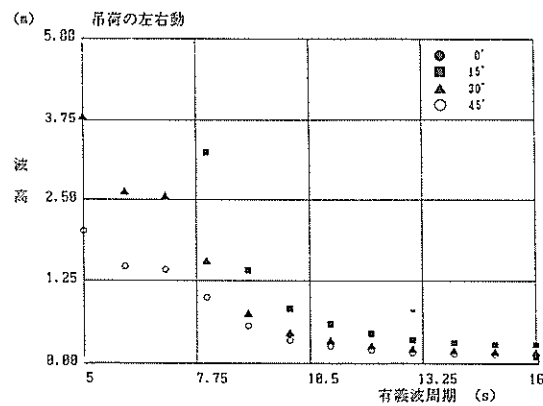
図一4.58 起重機船の稼働限界の波浪条件
(吊荷の左右動, 吊荷有り)



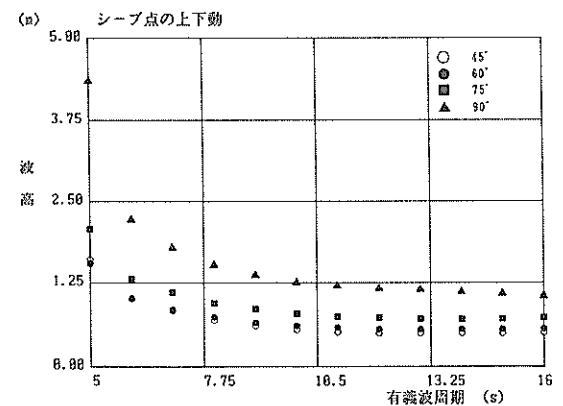
図一4.56 起重機船の稼働限界の波浪条件
(吊荷の前後動, 吊荷有り)



図一4.59 起重機船の稼働限界の波浪条件
(吊荷の上下動, 吊荷有り)



図一4.57 起重機船の稼働限界の波浪条件
(吊荷の左右動, 吊荷有り)



図一4.60 起重機船の稼働限界の波浪条件
(吊荷の上下動, 吊荷有り)

以上のようにして起重機船の稼働限界の波浪条件を求め、表-4.4および表-4.5に取りまとめた。表-4.4は吊荷がある場合で起重機船、吊荷およびシーブブロック点の仮の許容動揺量に基づいて求めたものである。また、表-4.5は吊荷がない場合で起重機船および吊荷の許容動揺量に基づいて求めたものである。表中で数値を開いたものは最も稼働限界の波浪条件の波高が小さいものである。また数値に^{*}を付したものはそれに比較的近いが、または、つぎに稼働限界の波浪条件の波高が小さいものである。

a. 吊荷がある場合

イ) 波向0°

シーブブロック点の動揺量または吊荷の動揺量から決めるものが最小の波高を与える。有義波周期 $T_{1/3} = 6$ s または 8 s ではシーブブロック点の動揺で決り有義波高 $H_{1/3} = 1.47$ m または 0.78 m 程度であるが、有義波周期 $T_{1/3} = 10$ s 以上の長周期波では吊荷の前後方向の動揺で決り有義波高 $H_{1/3} = 0.2$ m ~ 0.1 m になる。

ロ) 波向15°

ヨウイング、シーブブロック点の動揺量または吊荷の動揺量から決めるものが最小の波高を与える。有義波周期 $T_{1/3} = 6$ s ではヨウイングによって決り有義波高 $H_{1/3} = 0.45$ m であるが、周期 8 s ではシーブブロック点の動揺量で決り有義波高 $H_{1/3} = 0.76$ m、有義波周期 $T_{1/3} = 10$ s 以上の長周期波では吊荷の前後方向の動揺で決り有義波高 $H_{1/3} = 0.21$ m ~ 0.1 m になる。

ハ) 波向30°

シーブブロック点の動揺量または吊荷の動揺量から決めるものが最小の波高を与える。有義波周期 $T_{1/3} = 6$ s および 8 s ではシーブブロック点の動揺量によって決り有義波高 $H_{1/3} = 1.2$ m または 0.71 m であるが、有義波周期 $T_{1/3} = 10$ s 以上の長周期波では吊荷の前後方向の動揺で決り有義波高 $H_{1/3} = 0.25$ m ~ 0.12 m になる。

ニ) 波向45°

シーブブロック点の動揺量または吊荷の動揺量から決めるものが最小の波高を与える。有義波周期 $T_{1/3} = 6$ s および 8 s ではシーブブロック点の動揺量によって決り有義波高 $H_{1/3} = 1.02$ m または 0.69 m であるが、有義波周期 $T_{1/3} = 10$ s 以上の長周期波では吊荷の前後方向または左右方向の動揺で決り有義波高 $H_{1/3} = 0.32$ m ~ 0.15 m になる。

ホ) 波向60°

スウェイング、シーブブロック点の動揺量または吊荷の動揺量から決めるものが最小の波高を与える。有義波周期 $T_{1/3} = 6$ s ではスウェイングによって決り有義波高

0.70 m、また、有義波周期 $T_{1/3} = 8$ s ではシーブブロック点の動揺量によって決り有義波高 $H_{1/3} = 0.74$ m であるが、有義波周期 $T_{1/3} = 10$ s 以上の長周期波では吊荷の左右方向の動揺で決り有義波高 $H_{1/3} = 0.34$ m ~ 0.16 m になる。

ヘ) 波向75°

スウェイング、ローリングまたは吊荷の動揺量から決めるものが最小の波高を与える。有義波周期 $T_{1/3} = 6$ s ではスウェイングによって決り有義波高 $H_{1/3} = 0.55$ m、また、有義波周期 $T_{1/3} = 8$ s ではローリングによって決り有義波高 $H_{1/3} = 0.48$ m であるが、有義波周期が 10 s 以上の長周期波では吊荷の左右方向の動揺で決り有義波高 $H_{1/3} = 0.36$ m ~ 0.23 m になる。

ト) 波向90°

ローリングまたは吊荷の動揺量から決めるものが最小の波高を与える。有義波周期 6 s、8 s および 10 s ではローリングによって決り有義波高 $H_{1/3} = 0.55$ m、また、有義波周期 $T_{1/3} = 8$ s ではローリングによって決り有義波高 $H_{1/3} = 0.33$ m、0.36 m、0.40 m であるが、有義波周期 $T_{1/3} = 10$ s 以上の長周期波では吊荷の左右方向の動揺で決り有義波高 0.47 m ~ 0.46 m になる。

b. 吊荷がない場合

イ) 波向0°

ピッチングから決めるものが最小の波高を与える。有義波周期 $T_{1/3} = 6$ s ~ 14 s に対して有義波高 $H_{1/3} = 1.75$ m ~ 0.57 m になる。

ロ) 波向15°

ピッチングから決めるものが最小の波高を与える。有義波周期 $T_{1/3} = 6$ s ~ 14 s に対して有義波高 $H_{1/3} = 1.63$ m ~ 0.58 m になる。

ハ) 波向30°

ピッチングから決めるものが最小の波高を与える。有義波周期 $T_{1/3} = 6$ s ~ 14 s に対して有義波高 $H_{1/3} = 1.36$ m ~ 0.61 m になる。

ニ) 波向45°

ピッチングから決めるものが最小の波高を与える。有義波周期 $T_{1/3} = 6$ s ~ 14 s に対して有義波高 $H_{1/3} = 1.16$ m ~ 0.68 m になる。

ホ) 波向60°

ピッチング、ローリング、ヒーピング、スウェイングによって決るものが最小の波高を与える。有義波周期 $T_{1/3} = 6$ s ではピッチングで決り有義波高 $H_{1/3} = 1.23$ m、有義波周期 8 s および 10 s ではローリングで決り有義波高 $H_{1/3} = 0.87$ m および 0.79 m、有義波周期 12 s ではヒーピング決り有義波高 $H_{1/3} = 0.73$ m、また、有義波周期 $T_{1/3} = 14$ s

表-4.4 起重機船の稼働限界の波浪条件（吊荷あり）

波向	項目	6 s	8 s	10 s	12 s	14 s
0°	サスヒロビヨシ吊	3.14	2.23	2.18	1.14	0.69
	ウーエビリン	625.0	625.0	270.3	147.1	909.1
	ーピリン	4.50	2.79	2.49	1.20	0.90
	ーリチン	74.1	88.1	93.5	86.2	58.3
	ッウチン	1.94*	1.01	0.73	0.65	0.63
	シブ点の上	263.2	232.6	69.9	38.2	24.6
	吊荷の前後左右	<u>1.47</u>	<u>0.78</u>	0.57*	0.50*	0.48*
15°	サスヒロビヨシ吊	4.03	2.26	2.31	1.19	0.70
	ウーエビリン	5.99	8.62	4.46	2.72	1.79
	ーピリン	4.63	2.65	1.58	1.16	0.87
	ーリチン	6.31	5.88	3.17	2.23	1.65
	ッウチン	1.82	0.98	0.72	0.65	0.64
	シブ点の上	<u>0.45</u>	2.95	1.23	0.81	0.60
	吊荷の前後左右	1.40*	<u>0.76</u>	0.56*	0.50	0.48
30°	サスヒロビヨシ吊	2.47	0.88*	<u>0.21</u>	<u>0.13</u>	<u>0.10</u>
	ウーエビリン	6.37	3.24	0.83	0.46*	0.32*
	ーピリン	3.69	3.27	2.56	1.27	0.77
	ーリチン	2.53	2.70	2.17	1.40	0.93
	ッウチン	4.67	2.19	1.35	1.03	0.81
	シブ点の上	2.92	2.74	1.71	1.22	0.92
	吊荷の前後左右	1.50*	0.93*	0.72	0.66	0.65
45°	サスヒロビヨシ吊	3.34	1.59	0.68	0.46	0.34
	ウーエビリン	<u>1.20</u>	<u>0.71</u>	0.55	0.49	0.48
	ーピリン	2.63	0.99	<u>0.25</u>	<u>0.16</u>	<u>0.12</u>
	ッウチン	2.61	1.53	0.45*	0.26*	0.18*
	シブ点の上	4.33	3.80	2.79	1.43	0.87
	吊荷の前後左右	1.37	1.43	1.28	0.97	0.67
	60°	サスヒロビヨシ吊	3.16	1.57	1.06	0.88
ウーエビリン		1.87	1.79	1.32	0.96	0.75
ーピリン		1.28*	0.90*	0.75	0.71	0.71
ッウチン		2.33	1.25	0.55	0.37	0.28
シブ点の上		<u>1.02</u>	<u>0.69</u>	0.55	0.50	0.50
吊荷の前後左右		2.49	1.11	<u>0.32</u>	<u>0.21</u>	0.17*
75°		サスヒロビヨシ吊	1.47	1.00	0.36*	<u>0.21</u>
	ウーエビリン	5.13	3.76	2.95	1.78	1.10
	ーピリン	<u>0.70</u>	0.95	0.88	0.77	0.55
	ッウチン	1.72	1.11	0.85	0.74	0.65
	シブ点の上	0.96	1.00	0.99	0.96	0.78
	吊荷の前後左右	1.31	1.01	0.90	0.87	0.88
	90°	サスヒロビヨシ吊	2.27	1.27	0.57	0.40
ウーエビリン		1.02	<u>0.74</u>	0.61	0.56	0.56
ーピリン		2.84	1.41	0.46*	0.32*	0.26*
ッウチン		0.88*	0.76*	<u>0.34</u>	<u>0.22</u>	<u>0.16</u>
シブ点の上		6.62	5.38	4.26	3.09	1.91
吊荷の前後左右		<u>0.55</u>	0.78	0.72	0.68	0.49
90°		サスヒロビヨシ吊	1.18	0.85	0.71*	0.64
	ウーエビリン	0.44	<u>0.48</u>	0.53	0.70	0.92
	ーピリン	1.90	1.55	1.44	1.41	1.46
	ッウチン	1.87	1.52	0.75	0.56	0.46
	シブ点の上	1.31	0.95	0.79	0.73	0.71
	吊荷の前後左右	4.26	2.25	0.79	0.56*	0.45*
	90°	サスヒロビヨシ吊	0.59*	0.60*	<u>0.36</u>	<u>0.28</u>
ウーエビリン		7.87	5.75	3.72	8.26	7.81
ーピリン		0.50	0.72	0.67	0.64	0.48*
ッウチン		1.02	0.77	0.66	0.61*	0.57
シブ点の上		<u>0.33</u>	<u>0.36</u>	<u>0.40</u>	0.56	0.87
吊荷の前後左右		6.21	6.58	6.54	6.62	6.67
90°		サスヒロビヨシ吊	1.42	1.38	1.18	1.17
	ウーエビリン	2.22	1.52	1.25	1.16	1.11
	ーピリン	9.35	5.65	2.39	1.54	1.06
	ッウチン	0.46*	0.51*	0.43*	<u>0.47</u>	<u>0.46</u>
	シブ点の上					
	吊荷の前後左右					

□: 第1位、*: 第2位

表-4.5 起重機船の稼働限界の波浪条件（吊荷なし）

波向	項目	6 s	8 s	10 s	12 s	14 s
0°	サージング	2.57	1.54	1.42	0.86	0.53
	スウェーピング	—	—	—	—	—
	ローリング	4.17	2.78	1.66	1.21	0.92
	ピッチング	133.3	133.3	133.3	133.3	142.9
	ヨウイング	<u>1.75</u>	<u>0.98</u>	<u>0.70</u>	<u>0.61</u>	<u>0.57</u>
15°	サージング	500.0	—	500.0	250.0	200.0
	スウェーピング	3.33	2.00	1.47	0.88	0.55
	ローリング	19.6	10.9	5.49	3.33	2.17
	ピッチング	4.20	2.62	1.58	1.17	0.89
	ヨウイング	17.7	10.1	7.60	6.99	6.97
30°	サージング	1.63	0.95	0.69	0.61	0.58
	スウェーピング	6.99	3.89	2.66	2.25	1.81
	ローリング	4.15	2.45	1.60	0.93	0.58
	ピッチング	7.46	4.95	2.48	1.60	1.08
	ヨウイング	4.03	2.12	1.63	1.04	0.82
45°	サージング	9.90	4.13	2.98	2.78	2.89
	スウェーピング	<u>1.36</u>	<u>0.90</u>	<u>0.70</u>	0	<u>0.61</u>
	ローリング	3.88	1.95	1.45	1.22	0.99
	ピッチング	4.46	3.27	1.82	1.07	<u>0.68</u>
	ヨウイング	3.48	2.65	1.49	1.02	0.71
60°	サージング	2.67	1.52*	1.05*	0.88*	0.74
	スウェーピング	4.13	1.83	1.43	1.40	1.50
	ローリング	<u>1.16</u>	<u>0.89</u>	<u>0.75</u>	<u>0.69</u>	<u>0.68</u>
	ピッチング	2.65	1.59	1.20	1.02	0.83
	ヨウイング	7.09	4.12	2.28	1.40	0.92
75°	サージング	2.40	1.72	1.03	0.76*	<u>0.54</u>
	スウェーピング	1.54	1.07	0.84*	<u>0.73</u>	0.65*
	ローリング	1.49*	<u>0.87</u>	<u>0.79</u>	0.81	0.90
	ピッチング	<u>1.23</u>	1.03*	0.94	0.89	0.89
	ヨウイング	2.51	1.69	1.31	1.12	0.93
90°	サージング	8.85	6.33	3.88	2.52	1.67
	スウェーピング	2.30	1.38	0.84	0.65	<u>0.53</u>
	ローリング	1.10*	0.84*	0.71*	0.64*	0.59*
	ピッチング	<u>0.80</u>	<u>0.54</u>	<u>0.54</u>	<u>0.57</u>	0.64
	ヨウイング	1.99	1.76	1.66	1.59	1.61
90°	サージング	3.51	2.77	2.18	1.89	1.56
	スウェーピング	—	—	—	—	—
	ローリング	2.13	1.26	0.78	0.61*	<u>0.51</u>
	ピッチング	0.98*	0.78*	0.67*	0.61*	0.57*
	ヨウイング	<u>0.47</u>	<u>0.64</u>	<u>0.64</u>	<u>0.46</u>	0.57*
90°	サージング	—	—	—	—	—
	スウェーピング	2.13	1.26	0.78	0.61*	<u>0.51</u>
	ローリング	0.98*	0.78*	0.67*	0.61*	0.57*
	ピッチング	<u>0.47</u>	<u>0.64</u>	<u>0.64</u>	<u>0.46</u>	0.57*
	ヨウイング	—	334.3	250.0	250.0	200.0
90°	サージング	500.0	—	—	—	500.0
	スウェーピング	—	—	—	—	—
	ローリング	—	—	—	—	—
	ピッチング	—	—	—	—	—
	ヨウイング	—	—	—	—	—

□: 第1位、*: 第2位

ではスウェイングで決り有義波高 $H_{1/3}=0.54\text{m}$ になる。

へ) 波向75°

ローリングおよびスウェイングによって決るものが最小の波高を与える。有義波周期 6s~12sではローリング有義波高 $H_{1/3}=0.80\text{m}~0.57\text{m}$ であるが、有義波周期 $T_{1/3}=14\text{s}$ ではスウェイングで決り有義波高 $H_{1/3}=0.47\text{m}$ になる。

ト) 波向90°

ローリングおよびスウェイングによって決るものが最小の波高を与える。有義波周期 6s~12sではローリング有義波高 $H_{1/3}=0.64\text{m}~0.51\text{m}$ であるが、有義波周期 $T_{1/3}=14\text{s}$ ではスウェイングで決り有義波高 $H_{1/3}=0.44\text{m}$ になる。

5. あとがき

大水深海域における海上起重作業における起重機船の稼働特性、起重機船の作業限界の把握に資する目的で、起重機船の現地動揺実態観測、模型実験ならびに数値シミュレーションを行って起重機船の動揺特性を把握した。

現地動揺実態観測は和歌山港、門司港から熊本港の海上、熊本港ならびに相馬港において実施した。和歌山港においては3,000トン吊りの大型起重機船の、ケーソン吊り上げ時、曳航時、ケーソン据え付け時の動揺を測定し、大型起重機船の作業時の動揺特性、波および風的作用による動揺特性を解析した。門司港から熊本港の海上および熊本港においては、700トン吊りの中型起重機船の回航中、ケーソン吊り上げ時および据付時ならびに曳航時の起重機船の動揺、ケーソンの動揺を測定し、中型起重機船の作業時の動揺特性、波および風的作用による動揺特性を解析した。また、相馬港においては125トン吊りの小型起重機船のブロック据え付け時の動揺を測定した。

模型実験は3,000トン吊りの起重機船の1/50のモデルを用い、港湾技術研究所の平面水槽で行ったが、大型起

重機船および中型起重機船を想定して波浪条件を変え、波周期、波高および波向などの波浪条件と、起重機船の動揺および動揺周期、係留力、ならびに吊荷の動揺および吊荷張力の増減率との関係を求めた。

数値シミュレーションにおいては起重機船と吊荷との連成を考慮したプログラムを作成した。模型実験結果および現地観測結果と数値シミュレーションを比較し、それらが良い一致を示すことを確認した。

さらに、数値シミュレーションの結果に基づいて、起重機船および吊荷の許容動揺量を仮定して、起重機船の稼働限界の波浪条件を求めた。その結果、大水深における起重作業は、長周期波の影響を受けることにより起重機船および吊荷の動揺が大きくなるので稼働限界の波浪条件が厳しくなることが予測された。

これらの成果は、今後ますます増加することが予想される大水深海域における起重作業において活用されるものと考えられる。

本研究は、財団法人日本海上起重技術協会がモーターボート競走公益資金による財団法人日本船舶振興会の補助金を受けて実施した「海上起重作業の稼働限界調査」のうち、現地動揺実態観測、模型実験ならびに動揺シミュレーション結果に基づく稼働限界の検討を同協会から委託を受けた受託試験研究として実施したものである。現地動揺実態観測については、運輸省第二港湾建設局、同小名浜港工事事務所、運輸省第三港湾建設局、同和歌山港工事事務所、運輸省第四港湾建設局、同熊本港工事事務所の協力を得た。また、成果の取りまとめについては、同協会に設置された「海上起重作業の稼働限界調査委員会」の委員各位から有益なる助言を得た。以上の関係機関および各位に深甚なる謝意を表する。

(1991年3月31日受付)

参考文献

1. 係岸船舶の動揺解析手法とその応用に関する研究、港湾技研資料、No.504,1984.12

港湾技研資料 No. 709

1991・6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 新宿総合印刷センター協業組合

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.

Copyright © (1991) by P.H.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a
maching language without the written permission of the Director General of P.H.R.I.

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複
写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。