

大型海洋構造物建設におけるデリックバージの作業限界

関 田 欣 治*・谷 山 正 樹*

1. 概 略

わが国でもプラットフォームや大型シーバース建設が比較的深い海域（水深 50～150m）で行われ、また、近年その機会の増加が予想される。水深の増大は海象条件の厳酷化に通じ、建設工事で用いられる 500t 級の大型クレーンを装備したデリックバージなる作業船が、波を受け激しく動揺して構造物据付作業を困難にし、その作業性が著しく損なわれる。このため海洋構造物建設ではクレーンの作業性が建設工事の工程を左右する重要な一因となる。ここでは水深 80 m の日本海における阿賀沖プラットフォーム建設中にデリックバージ“くろしお”での現場動揺測定を行い、それらの結果を解析してデリックバージの作業限界と海象条件の関係を求めた。すなわち、これらの測定結果より作業船の動揺のうち roll, pitch, heave 等が吊り物作業中のクレーン動揺をひき起こして、クレーン作業の制約をもたらす支配的要因であることがわかった。同時に海洋構造物建設工事における作業船稼働率推定と現場作業管理に資するためクレーン作業限界と吊り物の揺れの関係、吊り物の揺れと作業船動揺、作業船動揺と海象条件の関係をそれぞれ求めた。これらにより従来ややもすると経験にたよりがちであった作業管理上の判断を実際経験に裏づけられた科学的見地に立った判断へ切換えることが可能となり、しいては海洋構造物建設作業の安全確実な施工体制の確立をはかれよう。

2. 測定作業の概要

計測は種々の作業項目のうち“くろしお”のデリッククレーンを用いる作業について重点的に実施し、昭和 49 年 5 月 14 日～7 月 3 日までの期間について行った。

（1）海象条件

海象条件については国際気象海洋協会の定時観測データを用いた。また、ジャケット部据付け後は、ジャケット天端から水面に設置した標尺による観測を併用した。

（2）作業船の動揺

roll, pitch については動的傾斜計を用い、heave については加速度計を用いてビジュグラフに記録した。

（3）稼働性の測定

稼働性については、杭の建込み、杭打ち、仮設材の吊上げ、デッキ類等上載構造物据付け等の作業項目ごとにブーム角、吊り長、吊り物揺れ、特に海象条件による作業中止の場合はその原因、海象状態の継続時間等の測定を行った。

3. 測定結果および解析

（1）“くろしお”動揺測定

作業船の動揺特性は船舶について一般に行われている 2 次元の速度ポテンシャルを用いて、自由表面の影響を正確に取り扱った New Strip Method¹⁾を用いた。測定値は Zero Up Cross 法により、roll, pitch, heave の 1/3 応答有義値や有義波高を用いて整理し、図-1～3 に示した。図中の実線破線が理論値で円、三角印が、実測値である。なお、heave については応答を正弦関数と仮定し加速度の 2 階積分により変位に換算した。これらの結果より、箱型バージへのストリップ法の適用も十分実用に足るものであると思われる。

（2）吊り物の動揺解析

クレーン作業の主体はデリックバージに横付けした輸

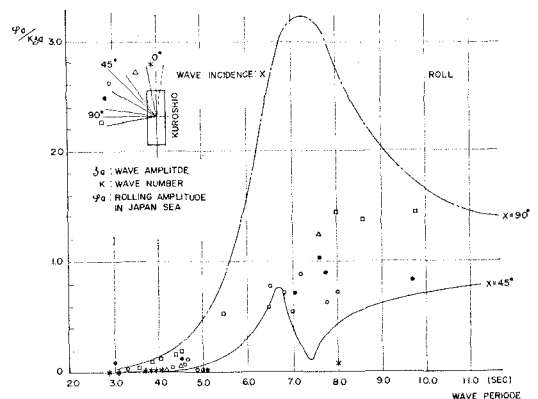


図-1 “くろしお”の横揺れ特性曲線

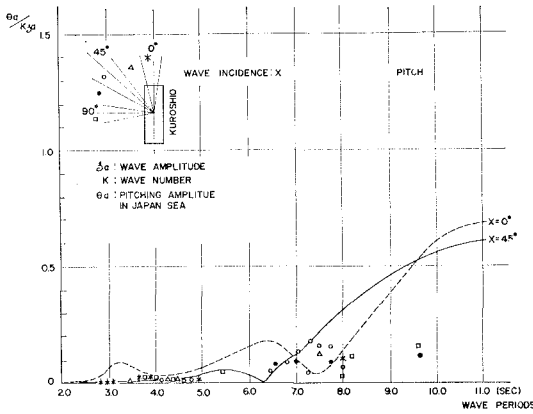


図-2 “くろしお”の縦揺れ特性曲線

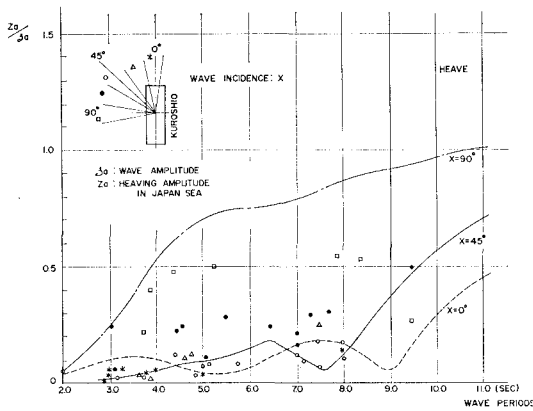


図-3 “くろしお”の上下動特性曲線

送バージから構造物を吊り上げ、旋回して船尾方向にブームを倒しジャケット上にデッキ類を据付けけるものであり、これらの状態について以下解析を行う。

roll についての解析

船体の roll により 図-4 に示すようにクレーンのシーブ・ブロックは周期的水平運動を行う。その結果吊り荷はシーブ・ブロックを中心に振子運動をするとして、次のような減衰を考慮した運動方程式が成立する。

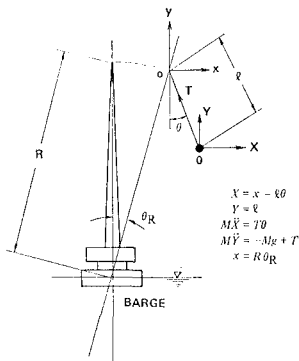


図-4 吊り荷の揺れと作業船の横揺れの関係

$$\ddot{\theta} + \frac{C}{Ml}\dot{\theta} + \frac{g}{l}\theta = -\frac{R}{l}\theta_R\omega_R^2 \sin \omega_R t \quad \cdots (1)$$

ただし、 M は吊り荷の質量、 C は減衰係数、 ω_R は roll 円振動数、 g は重力加速度である。したがって式 (1) より、非減衰の吊り荷の動揺固有周期は式 (2) で得られる。

$$T_F = \frac{2\pi}{\omega_F} = 2\pi\sqrt{l/g} \quad \cdots (2)$$

式 (1) についての定常解として、応答倍率 (K)、位相遅れ (φ) を次のように得る。

$$K = \frac{\theta_{\max}}{\theta_R} = \frac{R\omega_R^2}{l\sqrt{\left[\left(\frac{g}{l}\right) - \omega_R^2\right]^2 + \left(2h\sqrt{\frac{g}{l}}\omega_R\right)^2}} \quad \cdots (3)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{-2h\sqrt{\frac{g}{l}}\omega_R}{g/l - \omega_R^2} \right) \quad \cdots (4)$$

ただし、 h は減衰定数である。吊り荷は作業船を中心に考えるとクレーンブームのシーブ・ブロックでの揺れと吊り物の揺れの位相を考慮して加わえて求まるが、減衰が小さいので、両者の位相を無視できその場合吊り荷の水平動揺 (δ) は次式で得られる。

$$\delta = \pm \max[R\theta_R + l\theta_{\max}] = \pm (R + Kl)\theta_R \quad \cdots (5)$$

図-5 に吊り長さ (l) と吊り荷の揺れ固有周期 (T_F) との関係、ならびに roll 揺れ角 $\pm 20^\circ$ の場合の吊り長さ と水平動揺の関係を示した。図で示されるように作業船の動揺周期と共振を避けるような吊り長さで作業を行う

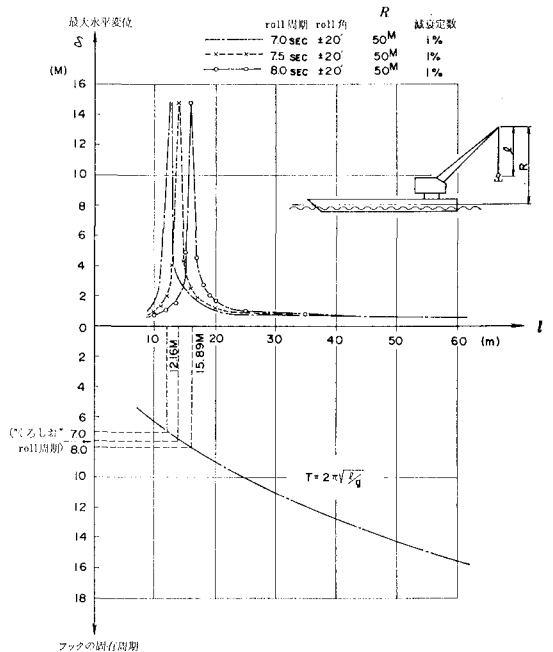


図-5 吊り長さ (l) と水平揺れ (δ) と固有周期 (T_F) の関係

ものとし、 l をパラメーターにし、作業船の roll-center とクレーンのシーブ・ブロックまでの距離 (R) と δ の関係を 図-6 に示した。吊り荷の質量は減衰に影響をするものの、共振時を除けば l によって吊り荷の水平揺れは決まる。したがって作業項目ごとにこの R と l を求めて、作業項目ごとの水平揺れと作業船 roll (θ_R) との関係を求めて、それを 図-7 に示した。図から特長的なことは同じ roll 角でも R が大きく、 l の短くなるパイルハンマー吊りや、長尺もののパイル建込み作業の方が、水平揺れは大きく、一方、デッキ吊上げ据付作業のように重量物でも l が比較的長くとれる場合は水平動揺が少なく作業は容易といえる。

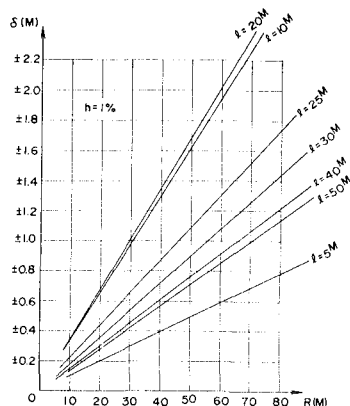


図-6 横揺れ角 $\pm 20'$ のときの $R-l-\delta$ の関係

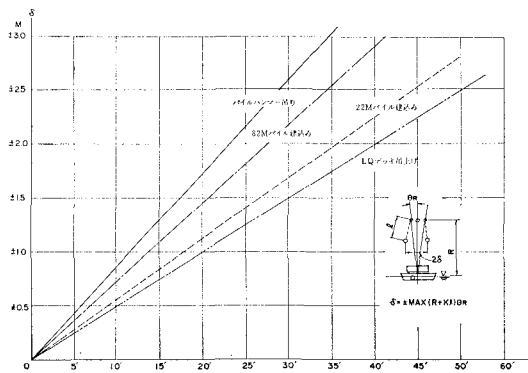


図-7 ローリングによる吊り物の水平揺れ

pitch についての解析

pitch によっても roll と同様周期的水平動揺が船軸方向に沿って観測されたが、その振幅は roll によって生ずる船幅方向の水平動揺に比較して小さい。それは図-1, 2 によってすでに示したが、pitch は roll より、一般に小さく、したがって roll による検討を行っておけば十分である。一方、図-8 に示されるように pitch (θ_P) によって生ずる上下動 (Δh) によって、作業は規制される。

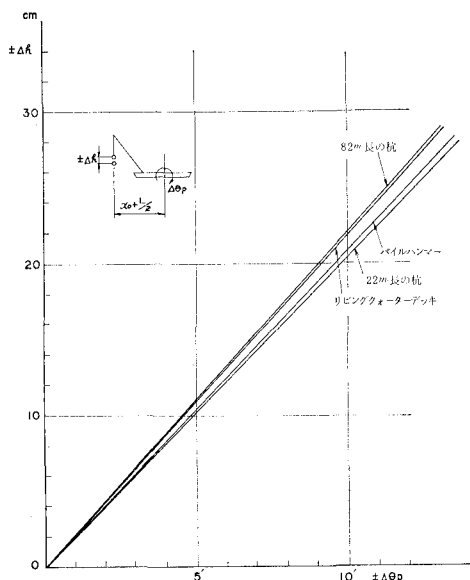


図-8 ピッチングによる吊り物の上下揺れ

この pitch による吊り荷の上下動は次式で示される。

$$\Delta h \doteq \left(\frac{L}{2} + x_0 \right) \theta_P \dots \dots \dots (6)$$

ただし、 L は船長、 x_0 は船尾と吊り荷重心までの水平距離である。式 (6) によって決定されるように、ブームを倒すほど、上下動は大きくなる。代表的作業項目別に、 x_0 を求め作業船の pitch と吊り荷の上下動揺の関係を図に示したが、roll の場合と異なり作業種別による相違は顕著でない。

4. 結 論

(1) クレーン操作限界

クレーン操作の作業限界はオペレーターの能力、クレーンの旋回やブーム起伏性能、吊り物の高さ容積重量、並びに吊り具類の影響、作業船の動揺特性等によって異なる。今回の現場観測の結果、作業が十分に安全に行える範囲での各作業項目別に吊り荷の揺れ作業限界を表-1 に示す。

表-1 クレーンオペレーター側の限界動揺量

作 業 名	水 平 振 れ	上 下 振 れ
パ建 } 82 m 杭	$\pm 0.5 \sim 1.5$ m	$\pm 10 \sim 15$ cm
イ込 } 50 m 杭	$\pm 1 \sim 1.5$ m	$\pm 10 \sim 20$ cm
ルみ } 22 m 杭	$\pm 1 \sim 2$ m	$\pm 10 \sim 25$ cm
杭 打 機 セ ッ ト	$\pm 0.5 \sim 1$ m	$\pm 10 \sim 20$ cm
パイル打込み作業	$\pm 0.5 \sim 1.5$ m	$\pm 15 \sim 25$ cm
重要吊り (デッキ)	~ 0.20 m	$\pm 5 \sim 6$ cm
小 物 (重 要)	~ 0.25 m	$\pm 5 \sim 10$ cm
小 物 (雑 類)	$\pm 1 \sim 2$ m	± 1 m

(2) クレーン操作限界に対応する作業船の動揺量

クレーン作業における作業船動揺のうち、回転については roll が吊り荷の動揺にあたえる影響が大きく、上下動については作業船の heave によるものより、pitch によって生ずる吊り荷の上下動の影響が支配的であった。

したがってクレーン操作限界に対応する作業船の roll, pitch 動揺量は 表-2 のようになる。

表-2 作業限界と作業船の動揺量

作業範囲		roll	pitch
杭上の吊り上げ杭打機セット重要吊り	82 m 杭	±25'	± 7'
	50 m 杭	±30'	±10'
	22 m 杭	±30'	±12'
	杭打機セット	±12'	±10'
重要吊り		± 5'	± 3'

(3) 海象条件と作業限界

作業船動揺を生じさせる海象条件については roll が主として限界値をあたえるので、作業船の船幅を波長の船幅方向への投影長で除したパラメーター ($\bar{R}$) を用いて

海象条件と作業限界との関係を 表-3 に示した。

表-3 船幅/波長比による作業限界

作業範囲		波高	
		$H=0.5\text{ m}$	$H=1.0\text{ m}$
杭上の吊り上げ杭打機セット重要吊り	83 m 杭	$\bar{R}>1.7$	$\bar{R}>1.8$
	50 m 杭	$\bar{R}>1.3$	$\bar{R}>1.5$
	22 m 杭	$\bar{R}>1.2$	$\bar{R}>1.6$
	杭打機セット	$\bar{R}>1.7$	$\bar{R}>1.9$
重要吊り		$\bar{R}>2.0$	$\bar{R}>2.5$

これらのデータは、ほぼ“くろしお”程度の寸法を有するデリックバージ（なお、くろしおの $L \times B \times d$ は $123\text{ m} \times 28.6\text{ m} \times 8\text{ m}$ 、総排水 $12\,000\text{ t}$ ）の作業限界をあたえるものと思われる。

参考文献

1) 田才福造・高木又男：規則波中の応答理論および計算法，耐航性に関するシンポジウム，昭和44年7月。