

荷役限界からみた港内静穏度に関する研究 (第1報)

榎 木 亨*・久 保 雅 義**

1. 緒 言

従来より外洋に面した港においては、うねりの侵入にともなう荷役作業の中止、船の係留索の切断事例などが報告されている¹⁾。このように波によって船が荷役作業に支障をきたした日数は例えば神戸港では年間数日程度であるが、外洋に面した港では年間数十日にも及んでいる。この外洋に面した港の荷役中止時の波浪特性を検討してみると、港内波高が小さくても比較的周期の長いうねり性の波による場合が多いことに気付く。この事実はいずれによって係留船の運動がはげしくなり、荷役中止が生じるためと考えられ、港湾荷役を安全かつ効率よく行うための港内静穏度は従来のように波高のみによって規定される²⁾のではなく波の周期によっても規定されなければならないことを示唆している。しかしながらこのような面からの港内静穏度に関する考察は従来なされていない。そこで、本研究ではまず外洋に面した港に係留された船体運動の実測を行ない、船体運動がどの程度になると荷役ができなくなるかを明らかにした。ついで波による船体運動の理論解を導き、実験値と比較して理論解の妥当性を検証し、さらにこの理論解を用いて実測より求めた荷役可能な船体運動の限界値から、荷役限界波高及び周期の関係を逆算し、荷役可能な限界波高と波の周期との関係について検討を加えた。

2. 係留船舶の船体運動の計測装置、および実測方法

著者らは 1976 年 8 月から 9 月までの 2 カ月間、外洋に面した港において波および船体運動の実測調査を行なった。その調査においては船の横方向の船体運動が卓越する岸壁で実測を行なったため、船体運動は Swaying, Rolling そして Heaving についてのみ計測している。

Swaying は図-1 に示すようにピアノ線の一端を岸壁に固定し、他の一端をポテンシオメータに接続した滑車を通して重りにつながっている装置で計測された。ここでは Swaying の計測として平均離岸距離と平均衝突時間間隔 (後述するように、この 2 倍が Swaying 固有周

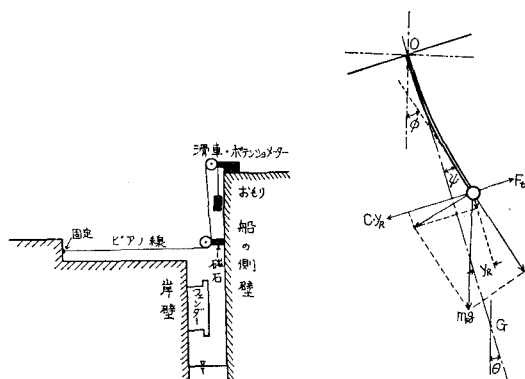


図-1 Swaying の実測方法

図-2 板バネ振り子に作用する力

期に対応する) を求めた。

一方 Rolling は板バネ振り子を用いて計測した。この板バネ振り子には船体運動により種々の力が作用するが、ここでは重力、Rolling による接線力 F_t および板バネ反力の三者についてのみ考えると図-2 のようになる。図-2 において振り子の長さを L 、船の回転中心から振り子までの距離を l_F 、重りの質量を m_F 、バネ定数を C 、重力加速度を g 、船が重心 G を中心に θ だけ傾いた時の振り子の法線方向に対する傾きを ϕ 、そして鉛直方向に対する傾きを ϕ とすれば、振り子の運動方程式は近似的に次式で与えられる。

$$I_F \ddot{\phi} + \left(m_F \cdot L \cdot g + \frac{2}{3} CL^2 \right) \phi = - \{ I_F - m_F (l_F - L) L \} \ddot{\theta} - m_L g \theta \dots \dots (1)$$

ここで $I_F \approx m_F L^2$ とおけるが L は l_F に比べ非常に小さいので I_F の項は省略できる。そこで式 (1) より静的な場合 (ϕ_s) と動的な場合 (ϕ_d) の ϕ はそれぞれ式 (2) で得られる。

$$\phi_s = \frac{-g\theta}{g + 2CL/3m_F}, \quad \phi_d = \frac{l_F \ddot{\theta} - g\theta}{g + 2CL/3m_F} \dots \dots (2)$$

式 (2) は ϕ_s と θ が線形な関係にあり、そしてこの静的な状態での calibration table を用いる以上、動的な場合の ϕ_d より傾斜角 θ を求めるには補正をしなくてはならない。Rolling の実測値を検討してみると Rolling

* 正会員 工博 大阪大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 神戸商船大学助教授 船貨輸送研究施設

周期はほぼ一定であるので、Rolling 現象が角周波数 ω_R の単振動をしているとみなせば、

$$\phi_d = \frac{l\omega_R^2 + g}{g} \phi_s \dots\dots\dots (3)$$

となる。すなわち動的な場合は実際よりも大きな傾斜角を与えるので式 (3) により補正する必要がある。この補正がどの程度有効であるかを明らかにするために、動揺試験台にこの Rolling meter を設置して実験を行なった結果、以上の補正を行なえば誤差は5% 以内であったので、式 (3) の補正を行なえば動的な場合でもこの板バネ振り子の方が使えることがわかった。

Heaving は加速度計を用いて Heaving 加速度を計測した。Rolling による遠心力は Heaving と同じ方向であるが今 Rolling の振幅を θ 、角周波数を ω_R 、とする時の最大加速度 α_θ は $(l_F - L)\theta^2\omega_R^2$ となり、これに代表例として $\omega_R = 2\pi/9$ 、 $\theta = \pi/180$ 、 $l_F - L = 10$ m を代入すると $\alpha_\theta = 3 \times 10^{-4}g$ となる。この値は今回の Heaving 加速度の実測値よりも1桁小さいので、加速度はほぼ Heaving のみによるものと考えることができる。このように加速度計により加速度は求まるが、後述するように荷役作業と直接関係あるのは Heaving の変位である。変位は加速度より求めるが今回は簡単のために、加速度の波形を正弦波に近似して、この時の変位と加速度の関係 $\dot{H} = -\dot{H}/\omega_H^2$ により全幅を求めた。ここで $\dot{H}$ は全幅を表わす。また ω_H は Heaving 加速度の卓越角周波数である。

波の実測は容量式波高計を用いて行なった。

なおこれらの実測値はカセット式データコードに記録され、統計処理はハイブリッド計算機で行なったが、この結果をまとめて表-1に示す。表-1において実測を行なったE丸の垂線間長 L_{pp} は175 m、船幅 B は26 m、吃水 d は7.1 m、排水量 M は27 000 ton である。O丸は $L_{pp}=175$ m、 $B=26$ m、 $d=7.5$ m、 $M=27$ 000 ton で、H丸は $L_{pp}=175$ m、 $B=27.6$ m、 $d=8.4$ m、 $M=33$ 300 ton である。

3. 実測結果とその考察

(1) 船体運動が荷役に及ぼす影響について

船体運動が荷役に及ぼす影響の度合は荷物の種類によって大きく異なる。原料バースでは原料の積み降しはバケットで行うので船倉内に作業員はおらず、そのため人的危険性はないのでよほどの事が無い限り荷役中止は生じない。一つの目安としてローディングアームの移動限界もしくは係留限界が荷役限界と考えられる。製品バースは製品に対する安全性ならびに船倉内で作業員が荷役作業を行うため、作業員自身の安全の面からも作業限界は厳しくなる。以下では製品バースにおける船体運動が荷役に及ぼす影響について考察を行なう。

クレーンで貨物を船内に積込む時すでに積込んでいる貨物の上約50 cm 位の所で貨物を降すのを一度止め、設置場所の真上にくるように調整する。このとき Swaying があると、貨物が動き船倉内の作業員の危険性が増

表-1 実測結果のまとめ

DATA No.	DATE	TIME	NAME OF SHIP	WAVES		ROLLING			SWAYING			HEAVING			作業中止の有無
				有義波高 (cm)	卓越周期 (sec)	有義振幅 (deg)	卓越周期 (sec)	固有周期 (sec)	平均離岸距離 (cm)	フェンダーとの平均衝突間隔 (sec)	係留状態	有義全幅 (cm)	有義周期 (sec)	力度 (m/sec ³)	
1	AUG 11	13:40	E丸	10.5	8.0	0.96	8.4	9.4	*40	—	緊張係留	—	—	—	AUG 11 08:00—13:30
2	AUG 11	13:45	E丸	11.2	8.4	0.96	8.7	9.4	*40	—	緊張係留	—	—	—	AUG 11 08:00—13:30
3	AUG 11	14:30	E丸	8.8	9.5	1.11	8.7	9.4	*30	*60	緊張係留	—	—	—	AUG 11 08:00—13:30
4	AUG 11	14:35	E丸	10.7	8.4	1.11	8.7	9.4	*30	*60	緊張係留	—	—	—	AUG 11 08:00—13:30
5	AUG 11	15:30	E丸	10.6	8.9	0.75	9.0	9.4	—	—	緊張係留	—	—	—	AUG 11 08:00—13:30
6	AUG 24	18:20	O丸	11.4	3.9	0.25	8.0	8.9	14	—	緊張係留	12.3	9.0	6.7×10^{-3}	無
7	AUG 24	19:00	O丸	12.4	5.1	0.19	9.8	8.9	15	—	緊張係留	10.5	9.3	5.2×10^{-3}	無
8	AUG 24	19:40	O丸	9.6	8.9	0.19	7.9	8.9	15	—	緊張係留	12.3	9.3	6.1×10^{-3}	無
9	AUG 24	20:35	O丸	11.5	5.2	0.18	7.9	8.9	14	—	緊張係留	9.4	9.9	3.8×10^{-3}	無
10	AUG 25	15:20	O丸	6.7	9.3	0.32	10.7	8.9	12	—	緊張係留	21.5	9.5	9.9×10^{-3}	AUG 25—26 23:00—05:00
11	AUG 25	16:00	O丸	7.2	9.2	0.23	10.3	9.3	13	—	緊張係留	19.1	9.4	9.1×10^{-3}	AUG 25—26 23:00—05:00
12	AUG 26	10:50	O丸	11.3	9.3	0.31	8.9	9.6	12	—	緊張係留	12.5	9.4	5.9×10^{-3}	AUG 25—26 23:00—05:00
13	AUG 26	10:55	O丸	14.1	9.3	0.31	8.9	9.6	12	—	緊張係留	14.1	9.7	6.1×10^{-3}	AUG 25—26 23:00—05:00
14	SEP 8	15:30	H丸	20.0	15.4	0.40	11.3	10.0	*200	90	弛緩係留	19.6	13.4	3.2×10^{-3}	SEP 8 ALL DAY
15	SEP 8	15:55	H丸	16.8	14.5	0.49	13.5	10.0	*200	90	弛緩係留	25.2	13.7	3.9×10^{-3}	SEP 8 ALL DAY

* は目視観測による値を示す

すとともに、クレーンの操作者は所定の場所に荷物を置きにくくなり、作業を中止せざるを得なくなる。表—1の data 14, 15 は荷役が完全に中止されていた時に得られたもので、この時の船体運動は表—1 からわかるように Swaying が卓越している。この表から荷役ができるための Swaying の限界値は一応 2 m と考えられる。

船の側壁近くでは Rolling も上下動に寄与するので、次に Rolling と Heaving を含めた船体運動が荷役に及ぼす影響について考える。前述のように貨物を船内の貨物の上約 50 cm 位の所に止めて設置場所の真上になるように調整する時、クレーンで吊っている貨物が船の上下動の為に船内貨物に接触し sling の hook がはずれることがある。逆に一度船内貨物の上におろされていたものが再び吊られた状態になって動きだすことがある。

$$\begin{aligned}
 M_S \ddot{y} + N_S \dot{y} + R &= M_S \dot{V} + N_S V \\
 I \ddot{\theta} + N_R \dot{\theta} + M \cdot g \cdot \overline{GM} \cdot \theta &= M \cdot H_I \cdot g \cdot R_M \cdot \sin kr \cdot \sin \omega t \\
 M_H \ddot{z} + N_H \dot{z} + \rho \cdot g \cdot B \cdot L_{pp} \cdot C_b \cdot z &= M_H \dot{W} + N_H W + \frac{M \cdot H_I \cdot g}{d} \cdot \frac{\sin kl \cdot \cos kr}{kl} \cdot \sin \omega t \\
 \dot{V} &= - \int P dy / M = \frac{H_I \cdot g}{d} \cdot \frac{\sin^2 kl}{kl} \cdot \frac{\sinh kh - \sinh k(h-d)}{\cosh kh} \cdot \frac{\cos ky_0 - \cos k(B+y_0)}{2 \sin^2 kl} \cdot \sin \omega t = \frac{dV}{dt} \\
 R_M &= f_{MH} \cdot \sin kl + \frac{\sin kl - kl \cos kl}{kd kl \cosh kh} \cdot \cosh k(h-d) \\
 f_{MH} &= \frac{1}{dl} \int_{-d}^0 (z-z_0) \frac{\cosh(h+z)}{\cosh kh} dz \\
 &= \frac{1}{kd kl \cosh kh} \{ -kz_0 \sinh kh + k(d+z_0) \sinh(h-d) - \cosh kh + \cosh(h-d) \} \\
 W &= \frac{1}{2dl} \int_{-l}^l \int_{-d}^0 \frac{H_I g k \cos k(x-r) \sinh k(h+z)}{\omega \cosh kh} \cos \omega t dy dz \\
 &= \frac{H_I \cdot g \cdot \{ \cosh kh - \cosh k(h-d) \}}{dl \omega k \cosh kh} \cdot \sin kl \cos kr \cos \omega t = \dot{W} dt
 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4)$$

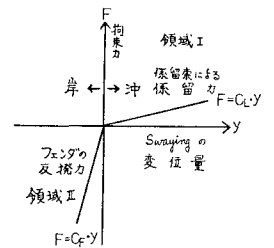
ここで y は Swaying の変位量, θ は Rolling 角, z は Heaving 変位量, z_0 は静水面から船の重心までの距離, P は波による圧力, M_S , M_H はそれぞれ Swaying 及び Heaving の見かけ質量, M は船の質量, I は Rolling のみかけ慣性モーメント, N_S , N_R , N_H は Swaying, Rolling, Heaving の減衰係数, C_b は方形係数, H_I は入射波高, k は波数, ω は波の角周波数, l は船の半幅, h は水深, r は船の中心から岸壁までの距離, $y_0 = r - l$, $\overline{GM}$ は船の横メタセンタ高さであり、実船では計算により求め、模型船では傾斜試験より求める⁵⁾。Swaying の拘束力 R は船が岸から離れる場合の係留索による係留力と船が沖から岸の向きにフェンダを押す時のフェンダの反撥力より成り立っている。この拘束力と Swaying の変位量との関係を示すと 図—3 に示されるように領域 I は係留索による係留力、領域 II はフェンダの反撥力を示す領域とし、両領域ともに力と変位の関係は線型であると仮定する。ここに C_L は係留索のバネ定数, C_F はフェンダのバネ定数を示す。なおこの C_L と C_F の比は実際の係留

data 1~4 は Heaving の実測値が欠けるので Rolling と Heaving を合成した上下動の変位量は不明であるが、船側での Rolling による上下動の変位量は船幅 $B=27$ m と Rolling 振幅 $\theta=\pi/180$ より $B \cdot \theta=0.47$ m となり、先程述べたクレーン吊り貨物と船内貨物との間隔 50 cm とほぼ対応する値になっている。そこで Heaving の全幅を $\dot{H}$ とする時、 $\dot{H}+B \cdot \theta$ が 0.5 m に近い時、荷役作業に支障をきたすと考えられる。

(2) 船体運動の解析と荷役限界波高について

接岸荷役の限界を考えるとき岸壁前面に係留した船の運動は簡単のため Swaying, Rolling そして Heaving はすべて単独に扱かうものとする。そこで船に働く外力を求め³⁾⁴⁾、これより岸壁前面での船体運動の基本方程式を導けば、近似的に次式で与えられる。

船では 1:100~1:1000 にも及んでいる。したがって C_L と C_F の効果を一律に論じることとはできないので船体運動の時系列的解析をすることが望ましい。この船体運動の時系列変化には Swaying 以外 Rolling, Heaving の効果が含まれているが、ここでは簡単のため Swaying についてのみ時系列解析を行なった。非対称拘束力の下での Swaying に関する研究は Lean の文献⁴⁾に詳しいが、彼はフェンダのバネ定数を無限大として解析しており、波の周期の長い所の解は実験値とも非常によく一致しているが、周期が短い所では Swaying の共振曲線を説明するに致っていない。ところで港内静穏度に影響を及ぼすのは Swaying の自由振動周期 (120~180 sec) よりも周期がかなり小さい



図—3 Swaying に対する拘束力

うねりが問題になるので、以下このうねりによる Swaying を考える。そこで著者らは図-3 の領域 I と II の線型方程式の厳密解をそれぞれ求め I から II, II から I へ移る時は前の領域での $Y=0$ および $\dot{Y}$ から自由振動項の積分定数を定めて解を求めてみた⁶⁾。Swaying の現象を見ていてわかることであるが、係留索に支配される時間はフェンダに支配される時間に比して極めて長いこと及び Swaying の自由振動の振幅が波による強制振動の振幅よりも大きく更に自由振動周期に対応する附加質量が強制振動周期に対応する附加質量よりも大きい等の理由より Lean と同様にここでは Swaying のみかけ質量及び減衰係数は静水中での係留索による Swaying の自由振動より決めている。この仮定の妥当性を検証するために著者らは長さ 15 m, 幅 5 m, 深さ 0.5 m の水槽で縮尺 1/60 の模型船を用いて実験を行ない、先の理論値と比較を行った。その結果を図-4 に示す。この理論値を出すにあたっては 1 ケースにつき 2 時間分の計算を行った。この場合解はほとんど定常的となる。非対称拘束力の下では sub-harmonic motion⁴⁾ が生じる。これは波の周期の偶数倍 (以下これを 2 m で表わす) が Swaying の固有周期に近い時に共振を生じて Swaying の振幅が大きくなる現象であるが、図-4 の共振曲線をみてわかるように、波の周期が小さく $m=1$ の場合は Swaying 変位 Y/H_I は小さいが、あるところから急に sub-harmonic motion が生じ、それにつれて Swaying の変位も急に大きくなっている。次にこの理論を用いて代表的な岸壁形式として不透過岸壁のすぐ横に船を係留する場合 (この場合を Solid jetty と呼ぶ) と不透過岸壁から 30 m 離して船を係留する横棧橋および Sea beath のように波が通過する係留施設 (以下 Open jetty と呼ぶ) における先程と同様の共振曲線を求め、更に Swaying 変位が 2 m

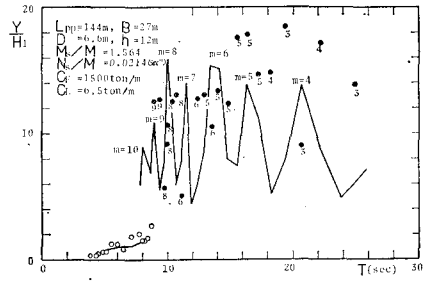


図-4 Swaying の理論値と実験値との比較

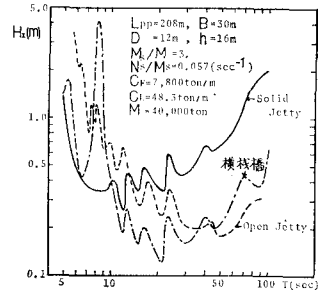


図-5 係留施設の違いが限界波高に及ぼす影響について

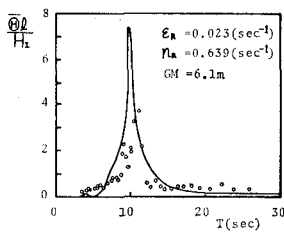
とした場合の限界波高を求めたのが図-5である。このように係留施設の相違により波の周期に対応した限界波高もかなり異なってくるのがわかる。すなわち、横棧橋は周期の短い波に対しては、限界波高が大きくとれて有利であるが、周期が長くなると、限界波高を小さくとらざるをえない。したがってうねりが侵入するような外洋に面した港では、横棧橋型式は繫留施設としては不適当と判断することができよう。

また、Rolling と Heaving については単振動における強制振動の振幅を求めると次式のようにあらわされる。

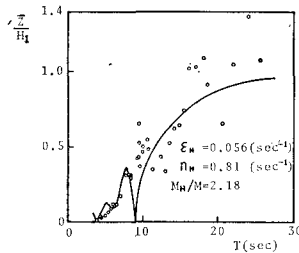
$$\left. \begin{aligned} \frac{\bar{\theta}l}{H_I} &= \frac{g \cdot M \cdot B \cdot R_M \cdot \sin kr}{2I \sqrt{(n_H^2 - \omega^2)^2 + 4\varepsilon_H^2 \omega^2}} \\ \frac{\bar{z}}{H_I} &= \frac{g \cdot \sin kl \cdot \cos kr}{dkl \sqrt{(n_H^2 - \omega^2)^2 + 4\varepsilon_H^2 \omega^2}} \sqrt{\left\{ \frac{1}{C_F} - 1 + \frac{\cosh k(h-d)}{\cosh kh} \right\}^2 + \left\{ \left(1 - \frac{\cosh k(h-d)}{\cosh kh} \right) \times \frac{2\varepsilon_H}{\omega} \right\}^2} \dots\dots\dots (5) \\ n_R^2 &= \frac{M \cdot g \cdot \overline{GM}}{I}, \quad \varepsilon_R = \frac{N_R}{2I}, \quad n_H^2 = \frac{\rho g B L_{pp} \cdot C_b}{M_H}, \quad \varepsilon_H = \frac{N_H}{2M_H}, \quad C_F = \frac{M_H}{M} \end{aligned} \right\}$$

但し n_R , ε_R , n_H , ε_H , C_F は別途理論的に求められるが今回は静水中での自由振動試験より求めた。(5) 式の妥当性を検証するため、Swaying の実験的検証に用いた装置を用いて実験を行なった。この場合の理論値と実験値を比較したのが図-6 および図-7 である。Rolling も Heaving も実際にはフェンダに当ることにより運動が阻止され、そのたびごとに自由振動の項が入ってくるため beat を生じる。そこでここでは Rolling 及び Heaving の実験値としては平均値を用いたので $\bar{\theta}$, $\bar{z}$ としている。Rolling の場合、共振時における実験値の振幅は

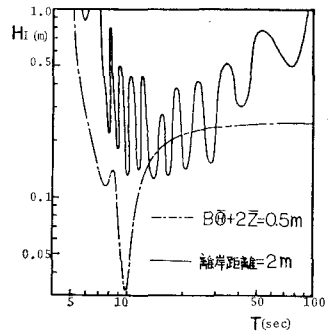
理論値よりかなり小さくあらわれるがその他の結果はほぼ理論値と一致している。一方 Heaving の理論値における Peak は Heaving の固有周期 7.7 sec に対応して現われたものであり、そして次の谷は船の中心が岸壁で形成された定常波の節に位置したために生じたものである。これも実験値のちればは大きいほぼ理論値と一致していると考えて差しつかえなからう。したがって 2. の (1) で述べたように、 $2(z + l\bar{\theta}) = 0.5m$ を荷役ができるための限界値とみなして、理論的にこの時の限界波高 H_I を求めると図-8 のようになる。図には Sway-



図—6 Rolling の理論値と
実験値との比較



図—7 Heaving の理論値と
実験値との比較



図—8 荷役ができるための理論
的限界波高

ing による限界波高も同時に記入している。前述のように Swaying は sub-harmonic motion のために多くの Peak があるため周期が長い領域で幅広く影響を与えるが、Rolling 及び Heaving はそれぞれの共振周期の近くのみ影響を与えるのがわかる。ここで示したのは一例にすぎないが、船体運動のそれぞれの運動が荷役に及ぼす影響の度合をよく表わしていると考えられる。

(3) 現地での荷役限界波浪特性について

表—1 における data 14, 15 は Swaying が大きくて荷役が中止されたものであるが、この時の Swaying の固有周期は 180 sec で波の卓越周期は 15 sec であるので $m=6$ となり、理論解析の所で述べたように Swaying の sub-harmonic motion が生じていたものと考えられる。又係留場所は横棧橋型式であったために 図—5 に示したように係留施設の影響が特に大きくあらわれたのではないかと考えられる。試みにこの時の水深を 14 m とし実測位置での波高より入射波高 H_I を求めると $H_I \approx 21$ cm となる。これは先の横棧橋型式の場合の理論的限界波高とほぼ一致している。data 1~4 は Rolling が大きくて荷役が中止されたものであるが、この時の $\overline{GM}$ より Rolling 周期を $T_R = 0.8B/\sqrt{GM^{(5)}}$ により求めると 9.4 秒になる。更にこの時の波の成分波高スペクトルより卓越周期を求めると 表—1 に示すようにそれぞれ 8 秒, 8.4 秒, 9.5 秒, 8.4 秒となる。理論解析においても予想したように、Rolling により荷役が中止となるのは、このように Rolling の固有周期と波の卓越周期が近くなり共振に近い時であるのがわかる。

4. 結 語

以上従来単に波高面でのみ規定していた港内静隠度を船体運動の理論、実験及び現地観測の面より検討を行なった。その結果を要約すると次のようである。

① Swaying は sub-harmonic motion のために多くの Peak があり、波の周期が長い領域で幅広く影響を与えるが、Rolling 及び Heaving はそれぞれの共振周期の

近くでのみ荷役作業に影響を与える。

② 横棧橋型式は鉛直岸壁のすぐ横に係留する場合よりも定常波の節に近いめよく動くので、うねりが港に侵入する機会の多い外洋に面した港では一考を要する。

③ 今回の実測において、波の卓越周期が 9 秒の時、その地点の 1/3 有義波高約 10 cm で Rolling のため荷役は中止され、波の卓越周期が 15 秒で 1/3 有義波高が約 20 cm の時 Swaying のため荷役は中止された。これらより、港内静隠度は波の周期ならびに港内振動と係留対象船舶の大きさも考慮して決めなければならないことがわかった。なお本研究においては第 1 報として船の横方向の運動から港内静隠度を考察したが、今後さらにいろいろな面から論じてゆくつもりである。最後に実験及び資料整理において援助していただいた大阪大学院生京谷光高君に感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) Wilson, B. W.: The Threshold of Surge Damage for Moored Ships, Proc. Instn. Civ. Eng., 38, Sept. 1967.
- 2) 運輸省港湾局機材課: 作業船の船体運動と作業限界, 作業船 Vol. 69, p. 51~66, 1970.
- 3) Wilson, B. W.: The Energy Problem in the Mooring of Ships Exposed to Waves, Proc. Princeton Conf. on Berthing and Cargo Handling in Exposed Locations, pp. 1~67, Oct. 1958.
- 4) Lean, G. H.: Subharmonic Motions of Moored Ships Subjected to Wave Action, 海外研究開発レポート S-A-1275-(C) 船舶動揺, pp. 387~399, 1971.
- 5) 松本・市瀬・本田: 新訂航海科提要上巻, 海文堂, pp. 272~278, 昭和 38 年.
- 6) 久保雅義: 港湾荷役条件と自然条件との関連性について, 土木学会第 30 回年次学術講演概要第 2 部, pp. 118~119, 1975.