

1 まえがき：港に在る船舶にとり、港湾は航海と次の航海との間の連結点であり、そこではいまでもなく出入港作業、荷物の積み卸し作業及び船員の休養等の活動が行なわれる。そしてその船舶活動に影響を与える要因の一つは停泊中の船舶に対する波浪、うねり、風、雨等の自然条件がある。これらの自然条件がどの程度から上述のような港での船舶活動に影響を与えるかという事は、港における船貨輸送上重要な問題といえよう。この事について、すでに日本海難防止協会⁽¹⁾、Glenn⁽²⁾及びWenmink⁽³⁾の調査研究がある。海難防止協会は主として大型タンカーを対象としたアンケート調査であり、荷役作業の限界風速として、15~20m/s、波浪及びうねりの限界波高1へ8mを与えている。Glennは各種作業船の操縦者の経験的な値に基づいて波に対する各種作業の実行限度を求めている。Wenmink等は、風及び潮流に対する作業限度を求めているが、波浪に対する考察は行なっていない。これらの調査結果が示すように限界となる風速や波高は、かなりの巾を持つが、それは船舶活動を左右する要因が複雑であり、波高や風速のみで律することが出来ない事に、大きな原因があると思われる。そこで今回の様な原因により作業しにくくなるかをアンケートで調査し、それに対する若干の考察を行なってみた。

2 荷役のneck Pointのアンケート調査結果：アンケートは、いろいろな種類の船長宛に1000通出し回収は160通であった。アンケートの結果を船の種類毎に要約すると下に示す表のようになる。この様に、荷役作業を行う上でのneck

Pointは船の種類によっていろいろ異なるが、共通する点も多い。そこで本質的な問題点を列挙すると次のようになると思われる。(1)波、風、潮流等による停泊中の船体運動に

船の種類	荷役のneck Point. ()は件数を示す。
在来船	荒天の為はしけ出来ない(14)、クレーン荷役に於ける荷物のふれ回り(10)、係留索の不安(5)、降雨・降雪の為の荷濡れ(4)、当座係留の場合荷物のふれ回りに加えて船の固定が困難、うねりで船体が岸壁より離れすぎる為slidingの位置が急変して危険、風による荷物の飛散。
重量物船・鋼材船	うねりや波で船が揺れる為、荷物はslidingをかけたくなる、クレーン荷役に於ける荷物のふれ回り。
フルコンテナ船	風によるクレーン吊り荷物のふれ回り(7)、うねりによるSurging, rolling(3~4), pitching(2~3)、風圧による船体傾斜(3~4)、潮流の為、船又船の一方が岸壁から離れ出る(1mが限度)
カーゴリーダ船	ランググットが移動は車輪積み込みが危険、乗客用可動橋離脱の危険がある、うねりによる船体動揺の為可動橋の角度が大となり車輪の履帯部、最後部が接触する、うねりによるslidingの為可動橋のL-L接合部と船体取付のL-Lに間隙ができる。
タンカー	ローディングアームの移動限界(船首尾、横方向とも約3m)(10)、Floating hoseの波による躍動によりホース摩損の懸念、係留索の不安、係留作業用の作業船の航行不能、舷側顕著な低気圧の接近又は津波の危険が予想される時、同時に張り出す(21)オイルフェンスが風や波の者に倒れる、雷雨。
セメント船	揚荷用バケットのふれ回り(14)、係留索の不安、風による荷物の飛散(月速10m/s位から)、降雨・降雪によるベルトコンベヤの運転不良、濃霧でクレーン操縦者がグラフが見えないう。

よる変位が問題になる場合、(2)船体運動により係留索が伸びて、索の強度が問題になる場合、(3)船体運動もしくは風による荷役中のクレーン吊り貨物のふれ回りが問題になる場合、(4)大型船の活動を支えている船や作業船等が大型船よりも先に自然条件の影響を受けて、その為大型船の荷役作業に支障を生じる。このように問題は、ある自然条件の下で船がどのような運動をするかという事に帰着されるが、ここでは自然条件のうち、波による影響を以下考察してみる。

3 荷役作業に及ぼす波の影響について：ここでは船体運動のうちsurging motionとSwaying motionを考え、その場合のクレーン吊り貨物のふれ回りと係留索の伸びの限界について考えてみる事にする。

船体運動の近似解：岸壁係留中の波による船のsurging motionについてはWilsonの論文⁽⁴⁾に詳しく論じられているが、いま彼にならって減衰力を無視すると、進行波による船のSurgingのみの式は次のようになる。

$$\ddot{X} + \alpha_1 \dot{X} + \beta_1 X^2 = \frac{A \cdot g}{D} \cdot \frac{\sinh kd - \sinh k(d-D)}{\cosh kd} \cdot \frac{\sin kL}{kL} \cdot \sin \omega t$$

ここでXは船の変位、 α_1 はWire rope、 β_1 はクレモノロープのバネ特性、Aは波の半波高、Dは吃水、dは水深、kは波数、 ω は波の角周波数、2Lは船の長さを表わす。この式は非線型なので、Ritzの平均化法でオー近

似解を求めたものが図1である。次に同じく減衰力を無視して重複波による船の Swaying motion のみの式を求めると次のようになる。

$$\ddot{Y} + f(Y) = \frac{A\beta}{D} \frac{\sinh kD - \sinh k(D-D)}{\cosh kD} \frac{\sin(kB/2)}{kB/2} \sin \omega t$$

ここで B は船巾を表わし、 $f(Y)$ はフェンダーと係留索により構成される係留力で Y の正負により次の様になる。ここで α_2, β_2 及び γ はそれぞれ

$$f(Y) = \alpha_2 Y + \beta_2 Y^3 \dots \dots Y > 0$$

$$f(Y) = \gamma Y \dots \dots Y < 0$$

それぞれ Wire rope, クレモナ・ロープ, フェンダーのバネ特性である。Surging の場合クレモナに属しては $A\beta^2$ で係留力を与えられ、ここでは $\beta_2 Y$ で与えている。この様にしておくと Y が正の領域のみ、及び負の領域のみでは線型方程式になるので、 $Y=0$ で $\dot{Y}$ を求めておけば正から負、負から正への移動が行なえる。このようにして波が横から来る場合の Swaying Motion を求めると図2の様になる。この図から非線型な係留力を見ると規則波の場合でも Swaying motion はかなり複雑になる。この場合の船の平均変位振巾を波の各周期について求めたのが図3である。係留力がフェンダー又は係留索のみで構成されているとした時の共振周期はそれぞれ 5.2sec, 24sec であるが、図3は両者を平均して 15sec で共振している。更に Surging の場合と比較すると、Swaying motion はかなり小さな周期の所で船のふれ巾が大きく、この事からも Swaying motion に対する考慮は重要である。

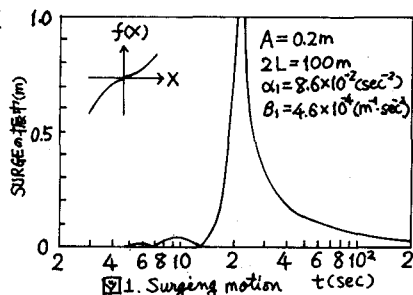


図1. Surging motion

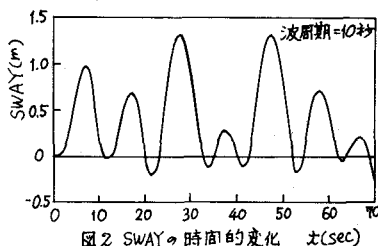


図2. SWAYの時間的变化

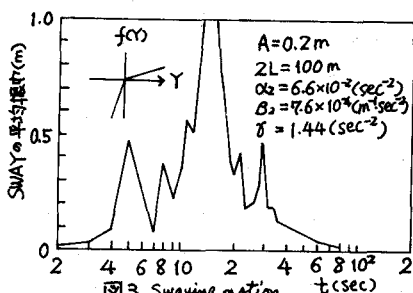


図3. Swaying motion

係留索の問題点: Wire ropeが切断する時の伸び Δl_{max} と切断荷重 T_m の関係は $\Delta l_{max} = \frac{E}{EA} T_m$ で与えられる。ここで l は rope の長さ、 E はヤング率、 A は断面積である。又 T_m は A との関係で $T_m = 4.7 \times \frac{4A}{\pi}$ と与えられる。これから Wire rope が切断する変位は $\Delta l_{max} = \frac{18.8}{\pi E} l$ で求まる。いま Wire rope の値をそれぞれ、 $E = 10^3 \text{ kg/cm}^2$ 、 $l = 16 \text{ m}$ とすると $\Delta l_{max} \approx 9.6 \text{ cm}$ となり、Wire rope が切れやすのがわかる。次に係留索として合成せんり索のみを用いると切断に至るまでの伸びは増大するが、ヤング率が Wire rope の 1/10 の程度であり、船が動きやすくなる欠点をもつ。

クレーン吊り荷物のふれ回り: 荷物を一定速度 v で吊り上げる時の船体運動による荷物のふれ角 θ は次の微分方程式で表わされる。

$$\ddot{\theta} + 2\dot{\theta}\dot{\phi} + g\theta = f(t), \text{ 但し } l \text{ は吊っている rope 長, } f(t) \text{ は外力。}$$

これは $\theta(t=0) = 0, \dot{\theta}(t=0) = 0$ の初期条件の下では

$$\theta = \frac{v}{2\dot{\phi}} \{ -\dot{\phi}_1(t) Y_1(t) + \dot{\phi}_2(t) Y_2(t) \}$$

となる。ここで $\dot{\phi} = 2\sqrt{g/l}$ 、 Y_1, Y_2 はそれぞれ第1種及び第2種の

一次の円筒関数である。今外力として、船体運動 $A \sin \omega t$ (A は変位の振巾、 ω は船体運動の角周波数) を与え、 $l=20 \text{ m}$ 、 $v=0.5 \text{ m/s}$ 、吊り上げ距離 4 m とし、その値の最大ふれ巾を各周期毎に示すと図4になる。

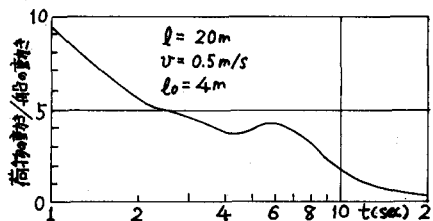


図4. 船の運動とクレーン吊り荷物の平均振幅

4 結語: 以上港内波が荷役に及ぼす影響の一端をみることが、波の周期によりその効果は大変異なり、従来規定されているように波高のみで港内の静穏度を考えるのは無理があると思われる。ここで示した結果は数値計算によるもので現実との対応については今後実験的に調べたいと思っている。なおアンケート調査に協力して頂いた多くの船長並びに研究について有益な助言を頂いた大阪大学植木亨教授に心より感謝する次第である。

- (1) 日本海難防止協会: 港湾における海難防止の問題点に関する研究, 昭和46年度
- (2) Glenn, A.H.: Program report on solution of wave, tide, current, and hurricane problems in coastal operation. Oil and Gas J. vol. 49 pp. 144-147 (1970)
- (3) C.T. Wengink: Mooring Panel report, XXII Int. International Navigation Congress, 1960
- (4) B.W. Wilson: The energy problem in the mooring of ships exposed to waves (1) Bull. Intern. Assoc. Nav. Cong., No. 52, 1959