

漁船の入港援助施設に関する基礎的研究

久保雅義*・斎藤勝彦**・大音宗昭***

1. はじめに

水産業の基盤となる漁港は、かつてそのほとんどが波の穏やかな天然の良港であった。水産業の発展と 200 カイリ時代の到来により、沿岸漁業の重要性が認識されるにしたがって、外洋に面した自然条件の厳しい地域にも数多くの漁港が建設された。この中でも特に日本海沿岸の冬期の季節風による風浪や、太平洋岸の秋の台風時のうねりは、漁港を建設するうえで最も厳しい条件であろう。従来よりこのような荒天対策としては、港内の波高を小さくするために防波堤の延長や、最近では低反射岸壁や港内の一部にスロープを設ける等の対策が講じられている。しかしながら、榎木ら（1982）が指摘しているように、現在これらの対策が合理的に行われていない面がしばしば見受けられ、今後漁港の整備にも水理学的な検討が十分行われることが期待されている。

また、港の行政範囲は、防波堤により囲まれる水面と港を取り囲むある程度の水域であることを考えれば、漁港整備の使命は、港内に係留されている漁船の安全性を確保するとともに、漁港区域を航行する漁船の安全性の確保も必要であろう。著者ら（1990）は、先に一般の港湾における荒天時の入港問題を提起し、その対策として「船舶入港支援ガイド」の概念を提案した。そこで本論文では、漁港について入港時の漁船の安全性に関する問題を取り上げ、漁港用の「船舶入港支援ガイド」の基本的な構造に関して検討を行った。

2. 漁港における荒天時の入港問題

（1）水路誌および海難よりみられる漁船の入港問題

水路誌は、海上および港湾における気象・海象条件や地形、施設、法規などを詳しく記述したもので、航海上の手引として用いられている。

表一1 は、水路誌（海上保安庁、1985、1986、1987、1988、1989）に記載されている中で、漁港へ入港する場

表一1 水路誌に記載されている入港上の注意

港名	入港上の注意事項
十勝港	北東～南東風の強風時には、南防波堤の先端付近で三角波が起り、また、うねりは通常横波となるから、出入港の操船には十分注意を要する。このような状況のときには、地元漁師は夜間入港しないという。
八重根港	偏西風のときには、入口付近は波が高く入港困難である。
福井港 三国地区	北西風が強いときには、三角波が立ち、保針に困難をまねく。
鳥取港	北よりの風が強く吹くときには、港口付近が荒れて入港が困難になることがある。

合に波浪条件が厳しく、入港に対して注意を促しているところを抜粋したものである。表一1 に示されるように、気象・海象の厳しい外洋に面した漁港では、荒天となった場合の入港が困難になることは、漁民にとっては常識的なことであろう。

また漁船は、一般商船に比べてかなり小さく、荒天によって海難につながりやすい。表一2 は、これまでの漁港の入口付近での荒天による漁船の海難を抜粋したものである（海難審判協会、1984、1985、1988）。漁船の海難の場合、人身事故につながる場合が多く、水産業を支える漁業人口の確保のためにも、入港時の安全性向上は必要不可欠であると考えられる。

（2）冬期日本海沿岸の漁港の現状

荒天時の漁港における問題を明確に認識するために、日本海沿岸の外洋に面したA漁港に赴き、実態を現場の人々から直接聞くとともに、入港時の船の安全性や後述する「船舶入港支援ガイド」に関するアンケート調査を行った。

図一1 は、A漁港の概略図であるが、同港の整備の特徴のひとつに、入港する船の安全性を向上させるために、港口より沖に数本の防波堤を設置していることがあげられる。同港は特に冬期の季節風による波浪の影響により、入港の安全性が阻害されていたが、これらの沖防波堤を設置したことにより、ある程度入港の安全性が確

* 正会員 工 博 神戸商船大学教授 船貨輸送研究施設

** 正会員 商船修 神戸商船大学助手 船貨輸送研究施設

*** 正会員 東洋建設(株) 技術研究所所長

表-2 港口部付近での海難の例

港名	船型	海難の概要
北海道 釧路港	35トン 漁船	大波で圧流され乗り揚げ (波浪が取れんする状態で入出港 に悪影響を及ぼしている)
福島県 中之作港	59トン 漁船	うねりと高波による遭難 (東寄りのうねりがあると、浅瀬 に高波が発生して危険)
宮崎県 延岡港	6トン 漁船	狭い水路で高波に遭遇して転覆 (水路の最狭部では異常な高波が 起こることがあり、度々事故発生)
北海道 熊石漁港	39トン 漁船	波浪の高い港口を入港する際、 横波を受け、波と船体動揺により 海中転落

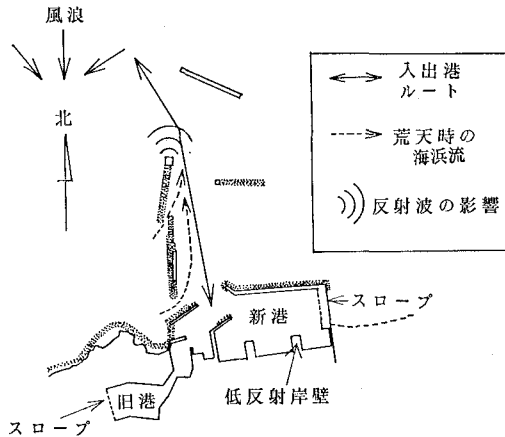


図-1 冬期日本海沿岸の漁港の現状の一例

保されたことは、地元の漁民からも歓迎されている。しかしながら、表-3 に示されるようなアンケート結果にみられるように、入港の安全性をより向上させてほしいという希望は根強い。また、沖防波堤を設置したことによって、海浜流の変化や航路や港内での砂の堆積等の新たな問題もでてきているようである。

調査を行った印象では、船の航行や停泊の安全に対する問題意識が非常に高く、日々自然と戦っている人々の苦勞を感じた。

3. 船舶入港支援ガイドの提案

以上のように、波浪条件の厳しい外洋に面した漁港において、入港時の航行の安全性を向上させることが必要であることが明らかになった。そこで、荒天下でも漁船が安全に入港できるための条件として、「低速で入港してくる船舶の漂流を防ぎ、狭い港口部を安全に航行できる」ことを対象にした、「船舶入港支援ガイド」を漁港の入口に設置することを提案する。

表-3 冬期日本海側A漁港の現状に関するアンケート結果

対象数, 解答率, 実施時期		A 漁港の漁民50人, 解答率38%, 1990年2月実施
対象となる漁船		総トン数20トン以下の小型漁船
質問		解答率(%)
冬期は全面休漁する		32.0
冬は荒天のため出漁できない日が多い		94.1
入港時の安全性	風浪のために転覆したり、防波堤にぶつかりそうになったことがある。	52.9
	風浪のために、操船が行い難い	88.9
	風浪のために防波堤に接近し過ぎることがある	72.2
	防波堤付近は、波が高く危険である	88.9
港の整備	港内の波を小さくしてほしい	94.4
	荒天時でも入港が安全になるようにしてほしい	94.4
	大きな船が入れるようにしてほしい	50.0
支援ガイド	入港が安全になるだろう	36.4
	実際には役に立たないだろう	53.8
	実現したら利用したい	61.5

図-2 は、「船舶入港支援ガイド」の概念を示すものであるが、本施設は船舶をガイドに沿わせながら入港するというものである。このような施設に要求される性能としては、以下のようなことが考えられる。

- 1) 厳しい自然条件（波浪，風，潮流）に十分耐え得る構造物である。
- 2) 船舶が接近できるように、波の反射率は極力小さい。
- 3) 船舶を安全に受け止めることができるように、十分な運動エネルギー吸収機能を有しているとともに、船舶に損傷を与えないように反力が小さい。
- 4) 船舶が滑らかに沿いながら航行できる。
- 5) 設置後、海浜流の重大な変化や、航路や港内への漂砂が起らない。
- 6) 耐久性、維持管理からみて妥当な規模である。

4. 船舶入港支援ガイドの実現に向けて

3. で述べた要求のうち、今回は 1), 2), 3) が満足されたものを入港支援ガイドの基本構造として、以下検討を行った。また、実現の可能性を検討するために、20 GT 型の漁船を対象として基本構造を考えた。ここで、ガイドへの漁船の接触形式は大きく分けると以下の3タイプが考えられる。

- 1) 入港支援ガイドから船の長さ程度離れて停止し、風浪によって漂流され接触する。
- 2) 通常の入港速度（航海速力の約 1/2）でガイドと

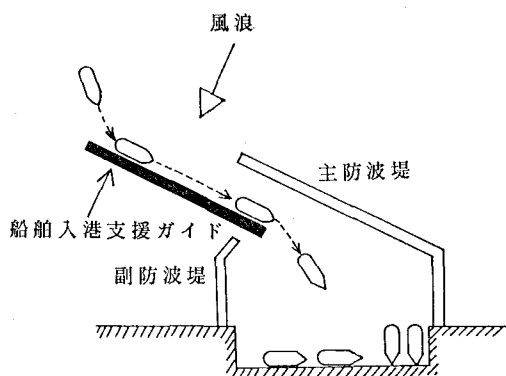


図-2 船舶入港支援ガイドの概念図

斜めに接触する。

- 3) 波乗り状態になり、大きな速度でガイドと斜めに接触する。(broaching-to)

(1) 風浪下での船舶の漂流速度

図-3 は、著者ら (1990) による、風のみが作用する場合の停止船の漂流速度の変化を、実験と数値シミュレーションにより示したものである。図-3 に示されているように、風浪下で、船舶は船の長さの半分程度漂流すれば、漂流速度はほぼ一定になることを確認した。そこで、漂流しながら入港支援ガイドに接触するときの漂流速度を、次式のような簡単な力の釣り合により求める。

$$\frac{1}{2}\rho_a C_a B_a (V_a - U)^2 + \frac{1}{2}\rho_w g L (K_r \zeta_0)^2 = \frac{1}{2}\rho_w C_w L d (U - V_w)^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 ρ_a : 空気密度、 ρ_w : 水の密度、 C_a : 風圧横力係数、 C_w : 流圧横力係数、 B_a : 受風横面積、 L : 船の長さ、 d : 喫水、 K_r : 入射波に対する船の反射率、 V_a : 風速、 V_w : 吹送流速、 g : 重力加速度、 U : 漂流速度、 ζ_0 : 入射波振幅、である。

さて、式(1)の左辺第一項は風圧力、第二項は波浪による定常漂流力、右辺は抵抗として作用する流圧力である。ここで、吹送流速 V_w は、無限水深中の風力係数 (土木学会, 1971) に緯度として 35° を代入すれば、 $V_w = 0.0168 V_a$ とあらわされる。また、入射波振幅 ζ_0 は、風速 V_a の関数として表され (石田, 1988), 日本海沿岸B港における風速と波高の観測データより、 $\zeta_0 = 0.0075 V_a$ とする。これらの値を式(1)に代入すれば、式(1)は結局次式のように整理できる。

$$\frac{U}{V_a} = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

$$A = \rho_a C_a B_a - \rho_w C_w L d$$

$$B = 0.0336 \rho_w C_w L d - 2 \rho_a C_a B_a$$

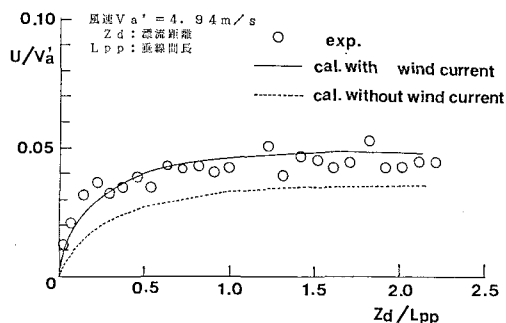


図-3 風のみが作用する場合の漂流速度

$$C = \rho_a C_a B_a + 5.625 \times 10^{-5} \times \rho_w g L K_r^2 - 2.8224 \times 10^{-4} \times \rho_w C_w L d$$

式(2)の適用の可否を確認するために、風のみが作用する場合と、波のみが作用する場合の定常漂流速度を水槽実験での結果と比較する。風のみが作用する場合の実験は既に行っている (著者ら, 1990) ので、今回は図-4 に示すように、波のみが作用する場合の船舶の漂流に関する実験を行った。

実験に用いた模型船の諸元 ($L=2.26$ m, $d=0.147$ m, $B_a=0.2975$ m²) を、風のみが作用した場合に、式(2)に代入すると、 $U/V_a=0.050$ に対して、実験では、 $U/V_a=0.048$ という値を得た。図-5 は、波のみが作用する場合の実験と、式(2)より計算された定常漂流速度を示している。ここで船の反射率は、2次元の境界要素法 (久保ら, 1988) による計算値を用いている。このように波のみが作用する場合についても、計算は実験を比較的よく表現できることを確認した。

以上のことから、風浪下での船舶の定常漂流速度は、式(2)より算定できるものと考えられる。よって、対象とする 20 GT 型漁船 ($L=14.9$ m, $B_a=13.5$ m², $C_a=1.1$, $C_w=0.7$, $K_r=0$) に式(2)を適用すると、 $U/V_a=1/20.47$ となる。

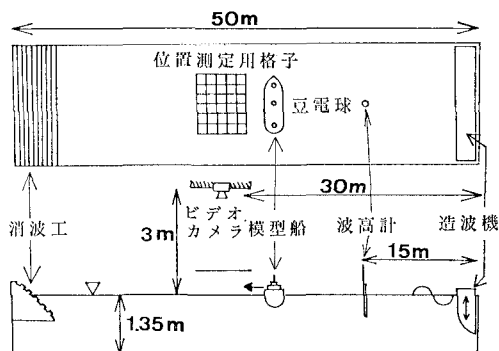


図-4 規則波による船体漂流実験

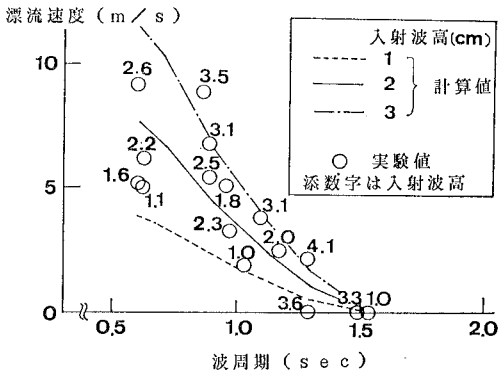


図-5 波のみが作用する場合の定常漂流速度

(2) 船舶入港支援ガイドへ作用する船舶の運動エネルギー

漁港での聞き取り調査やアンケート調査を参考として、入港支援ガイドの利用条件を風速 15 m/s、有義波高 2 m とする。漂流しながら入港支援ガイドへ接触する場合、漂流速度は式(2)より風速の 1/20 と概算できるが、安全性を考えて風速の 10% とし、1.5 m/s とする。また、20 GT 型の通常の航海速力は 10 ノット程度であるから、入港支援ガイドへ接触する場合の速度を 2.6 m/s とする。さらに、浜本・藤野(1986)によれば、船の長さや波長と船の速度の関係により、波乗り状態が起こる可能性が示されており、20 GT 型漁船の場合、船速が 14 ノットであるとき波乗り状態となるが、入港速度は 5 ノット程度であるので、ここでは入港支援ガイドへ波乗り状態となって接触することは考えない。

以上のことから、入港支援ガイドへ作用する運動エネルギーは、10 t-m 程度を考える必要があろう。つまり、通常の岸壁の緩衝工設計での接岸速度は、漁船の場合 0.5 m/s で運動エネルギーは 0.6 t-m 程度であり、入港支援ガイドの場合にはかなり大きな運動エネルギーが作用するので、エネルギーの吸収装置には特別な配慮が必要であると考えられる。

(3) エネルギー吸収装置の概念

船舶の運動エネルギーの吸収方法については、本四連絡架橋や東京湾横断道路等において橋脚を船舶の衝突から防護する緩衝工を決定する際に検討が行われている。これらのものは、非常時の施設ということで、船舶や緩衝工は塑性変形や圧壊を考慮したものである。しかしながら、入港支援ガイドのエネルギー吸収装置は、船舶の接触によって緩衝工や船舶が損傷してはならない。

いま対象としている船舶は、20 GT 型の漁船であるが、エネルギー吸収装置の限界反力は対象船舶の船体(外板)の弾性限界であるべきである。岸壁への接舷方法に関する漁港での聞き取り調査によれば、接岸時は外

板を損傷させないように古タイヤによって受衝面積を増して防舷材へ接している。このように、接岸時の非常に小さな速力でも現状の防舷材では、外板を損傷させないように工夫する必要がある。

さて、吸収すべき運動エネルギーは、10 t-m で、限界反力を極力小さくする必要がある。また、受衝面積は対象とする漁船が入港支援ガイドへ 1/4 点接触することを考えれば、船体側面全体にとることは困難であり、また限界反力の制約によって受衝面積がある程度以上大きくなるように、装置の受衝方法を工夫しなければならないと考えられる。

例えばエネルギー吸収装置として、線型な変位-反力特性を想定すると、最大反力 F 、受衝面積 A 、単位面積あたり衝撃力の限界値 P 、吸収すべきエネルギー E の条件は以下のような式で表される。

$$E = \frac{1}{2}FX, \quad P > \frac{F}{A} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 X はバネの最大変位である。

入港支援ガイドでは、従来の防舷材に比べ吸収すべきエネルギーが非常に大きいので、式(2)により、低反力で受衝面積が大きくとることができ、変位を大きくとることのできる装置を考える必要がある。

(4) 入港支援ガイドの基本構造

3. で述べたように、入港支援ガイドに要求される性能は種々考えられるが、基本構造を考える場合には条件の 1), 2), 3) をまず満足する必要がある。そこで入港支援ガイドの基本的な構造を、図-6 のようなものと考えた。この施設は、船舶の受衝面をネット状のものにするることにより受衝面積を大きくし、かつ低波力で反射率を極力小さくしている。さらにエネルギー吸収は、低反力で変位(ストローク)を長くとることができるダッシュボットを採用することにより、上記の条件を満たすことが可能である。

このような構造にした場合の具体的かつ詳細な検討は今後とも精力的に行う必要があるが、著者らはこのよう

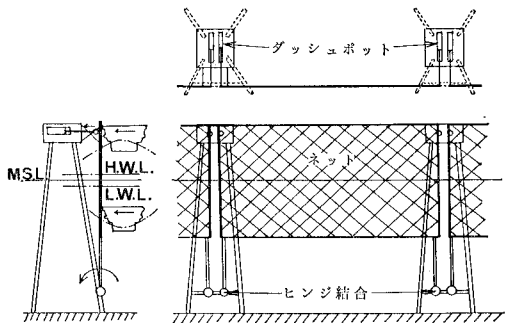


図-6 船舶入港支援ガイドの基本構造

な施設が全く実現性の無いものではないとの印象を持っている。最後に、この構造形態について、今後の技術的な検討項目を整理すると以下ようになる。

- 1) 潮位や波浪による船体の上下動により、受衝面の高さを十分に大きくする必要がある。
- 2) 波浪による船体運動によって船がネットに絡まないか。
- 3) 杭下部のヒンジのメンテナンス
- 4) 漂流物の除去の必要性和費用
- 5) ネットや受衝部の枠の材料
- 6) ダッシュボットのドルフィンへの装備可能性
- 7) ネットの弾性やダッシュボットの規模決定
- 8) ドルフィンの杭や杭頭の規模決定
- 9) 建設および保守の費用と、設置した場合の効果との関係

5. おわりに

入港の安全性を向上させることは、気象・海象の厳しい地域に造られている漁港整備の大きな使命のひとつである。現地調査を行った漁港にみられるように、現在、入港の安全性を向上させるために、港口から沖に向かって八の字型に防波堤を設置する方法が採られている。この対策によって確かにある程度入港の安全性は向上しているが、沖の方へ防波堤を設置していくにしたがって建設するための費用は莫大なものになるだろう。

本研究では、入港の安全性を向上させるための対策として、港口部に「船舶入港支援ガイド」を設置することを提案した。本システムを実現させるためには、今後様々な観点より検討を行う必要がある。現時点で実現の可能性を議論することはできないが、表-3 に示されて

いるように、アンケート調査によれば漠然としたイメージであるにもかかわらず、全ての漁民が本システムに否定的な感想を抱いていないことを考えれば、実現に向けた検討は今後とも一層努力すべきであると考えている。

最後に、本研究を進めるにあたり、大阪大学工学部榎木亨教授には貴重な御意見を賜った。漁港の現地調査やアンケート調査を行うにあたっては、地元の県漁港課および漁業協同組合の方々には大変お世話になった。また、実験において当時学生の小野寺純君には御助力頂いた。ここに、諸氏、諸機関に対して御礼申し上げる次第である。

参考文献

- 石田廣史 (1988): 海洋の風と波, 日本航海学会誌, 第 96 号, pp. 1~7.
- 海上保安庁 (1985): 九州沿岸水路誌, 609 p.
- 海上保安庁 (1986): 本州南・東岸水路誌, 565 p.
- 海上保安庁 (1987): 本州北西岸水路誌, 336 p.
- 海上保安庁 (1988): 北海道沿岸水路誌, 402 p.
- 海上保安庁 (1989): 瀬戸内海水路誌, 484 p.
- 海難審判協会 (1984): 海難審判裁決録, pp. 592~595.
- 海難審判協会 (1985): 海難審判裁決録, pp. 316~319.
- 海難審判協会 (1988): 海難審判裁決録, pp. 474~478, pp. 1730~1733.
- 久保雅義・斎藤勝彦・大音宗昭 (1990): 風浪の厳しい港湾の入港問題と改善策について, 日本沿岸域会議論文集, 第 2 号, pp. 31~33.
- 久保雅義・斎藤勝彦・榎原繁樹 (1988): 斜面前面における係留船の船体運動について, 日本航海学会論文集, 第 78 号, pp. 73~81.
- 榎木 亨・久保雅義・青木伸一 (1982): 外洋に面した漁港における荒天時避泊状況と種々の問題点, 第 29 回海岸工学講演会論文集, pp. 516~519.
- 土木学会編 (1971): 水理公式集, pp. 569.
- 浜本剛実・藤野正隆 (1986): 船舶の縦波中の転覆, 日本造船学会運動性能研究委員会第 3 回シンポジウム, pp. 125~157.