

船舶の接岸速度に関する現地調査

守屋 義一* ・ 吉田 行秀**・ 伊 勢 博***
宮崎 和行****・ 杉 浦 淳*****

1. はじめに

港湾の係留施設に作用する外力条件としては、波・潮流・船舶の接岸力等がある。中でも船舶の接岸力は、近年の船舶の大型化、専用船化、荷役量の増加に伴ない変化してきているものと考えられる。接岸力に影響する要素としては、現行の技術基準では船舶の排水量、接岸速度などがある。接岸速度については、溝口ら（1973）、上田（1981）が測定した例があるものの、最近は見当たらない。したがって、入港船舶の動向をふまえた接岸速度を把握することは、現行の技術基準を確認する上で必要と思われる。

現行の技術基準では、船舶の接岸速度は、対象船舶の船型、荷荷状態、係留施設の位置及び構造、気象及び海象状況、ひき船の有無・大きさ等を考慮して、実測値または既往の接岸速度の実測資料に基づいて定めるものとしている。

そこで、本調査は、係留施設に作用する諸条件のうち、防衛工の設計上において重要となる船舶の接岸速度に着目し、貨物船、コンテナ船、車両運搬船を対象として、入港接岸時の接岸速度、船舶条件、接岸条件、自然条件を観測し、接岸速度と諸条件との関係を検討した。

2. 調査条件及び方法

調査場所は太平洋側の港湾にある3埠頭（A、B、C）を対象とした。A埠頭は、水深 10～12m、係船能力 1万～2.5万 D. W. T. 級で10バースを対象とした。B埠頭は、水深 10～13m、係船能力 1.5万～4万 D. W. T. 級で28バースを対象とした。C埠頭は、水深 10～12m、係船能力 1.5万～3万 D. W. T. 級で8バースを対象とした。岸壁の構造形式は、A埠頭は矢板式、棧橋式が混在、B埠頭はほぼ棧橋式、C埠頭は矢板式と

表一1 調査船舶の内訳

D. W. T (TON)	貨 物 船	コンテナ船	車両運搬船	合 計
1000級	10	0	0	10
	3.2	0.0	0.0	3.2
5000級	42	29	2	73
	13.3	9.2	0.6	23.2
10000級	22	13	24	59
	7.0	4.1	7.6	18.7
15000級	39	17	24	80
	12.4	5.4	7.6	25.4
30000級	26	40	6	72
	8.3	12.7	1.9	22.9
50000級	2	19	0	21
	0.6	6.0	0.0	6.7
合 計	141	118	56	315
	44.8	37.5	17.8	100.0

1000級＝ 1000～ 3000D. W. T.、5000級＝ 3000～ 7000D. W. T
10000級＝ 7000～13000D. W. T.、15000級＝13000～22000D. W. T
30000級＝22000～40000D. W. T.、50000級＝40000～50000D. W. T
注）上段は船隻数、下段は百分率を示す。

なる。調査は、12月下旬から3月下旬までの冬季に行なった。

表一1 は、対象とした船舶の内訳を示すものである。合計船舶数は 300 隻余りに対して貨物船が 45%、コンテナ船が 37%、車両運搬船が 18% となった。

調査項目は、船首側、船尾側 2 カ所の接岸速度、風向風速、波高、周期、波向、潮位、接岸位置、バース構造型式、水深、防衛工の配置等とし、調査船舶については船種、総トン数、重量トン数、全長、喫水を整理した。

写真一1 は、接岸速度を測定するに際し用いた変位計を示すものである。これは、差動変圧器を検出部に応用した機械的変位を電圧に変換して測定するインダクタンス式変位計（共和電業社製；±500mm 測定可）である。

図一1 は、岸壁に対して直角に設置された変位計の記録である。記録紙の ±0 は、防衛工の前面部分に合わ

* 正会員 (前)運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所 調査課長
** 正会員 (現)運輸省第二港湾建設局工務二課補佐官
運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所 工事専門官
*** 運輸省第二港湾建設局工務一課
**** 株式会社エコー第一技術部水理課
***** 正会員 株式会社エコー第一技術部水理課

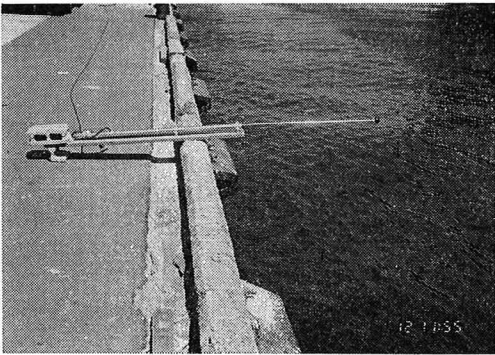


写真-1 インダクタンス式変位計

せてあり、これより岸側は防衛工の変位量を示す。接岸速度 V は、岸側直後の変位 Δd を変化時間 Δt で割った値とした。風向風速は、風向風速計（小笠原計器製作所製；C-W 103 型）を用いて測定した。波高、潮位、接岸位置等は目視観測した。船種、総トン数、全長等については航行予定表から得た。重量トン数については、総トン数を用いて港湾の施設の技術上の基準にある換算式から求めた。喫水は両舷にある乾舷マークから確認した。

調査方法は、運航予定表をもとに船舶種類、規模ができるだけ均等になるように調査船を選択し、4分の1接岸を想定して第1接岸点になると思われる船首、船尾側の2カ所に変位計を設置した。このように、接岸速度は船首、船尾側の2カ所で測定しており、片側のみ防衛工に接触した場合はその値、両側とも接触した場合は両者の最大値を接岸速度 V として定義した。したがって、接岸速度 V とは、第1接岸と第2接岸点を含めた最大となる接岸速度みなすことができる。

3. 調査結果

調査は合計315隻の船舶に対して行なったけれども、船首側の防衛工に接触したケースは142例、船尾側の防衛工に接触したケースは102例となった。このうち74例

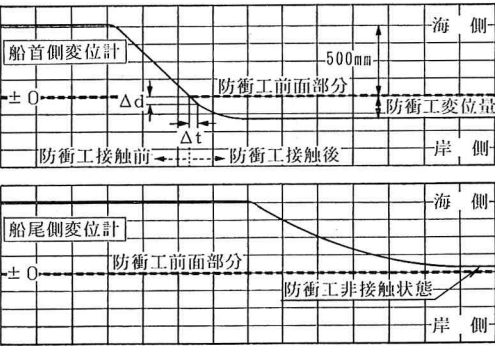


図-1 接岸速度の記録例

表-2 接岸速度 V の平均値

D. W. T (TON)	貨物船	コンテナ船	車両運搬船	合計
1000級	81	—	—	81
5000級	67	78	—	72
10000級	50	72	46	53
15000級	45	49	47	46
30000級	39	41	44	41
50000級	35	34	—	34
合計	52	50	46	50

注) 接岸速度単位: mm/sec

は船首、船尾側とも接触したケース、半数近い145例は、船首、船尾とも防衛工にほとんど接触することなく着岸したケース ($V=0$ mm/sec) となった。

防衛工接触前における岸壁への接近速度の平均値は、調査船全体で92 mm/sec、貨物船で94 mm/sec、コンテナ船で91 mm/sec、車両運搬船で90 mm/sec となり、貨物船でやや接近速度が速くなっているのは比較的小型の船舶が多かったためである。パイロットによると、4000 G. T. 以下の小型船舶またはスラスターを有する船舶は、通常タグボート1隻（一般に、タグボート2隻）で接岸を行なうため、操船が難しいと言われている。

表-2 は、防衛工接触時の接岸速度 V の平均値を示すものである。 V は調査船全体で50 mm/sec、貨物船で52 mm/sec、コンテナ船で50 mm/sec、車両運搬船で46 mm/sec となり、接岸時には接近時に比べ速度がほぼ半減した。接岸速度 V の標準偏差 ($\sigma n-1$) は、調査船全体で27 mm/sec、貨物船で31 mm/sec、コンテナ船で25 mm/sec、車両運搬船で25 mm/sec となり、船種にかかわらず V は同様にばらつく結果となった。図-2 は、重量トン DWT と接岸速度 V との関係を示すもので

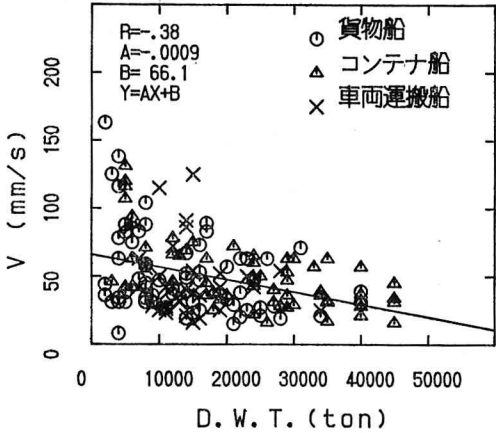


図-2 重量トン DWT と接岸速度 V の関係

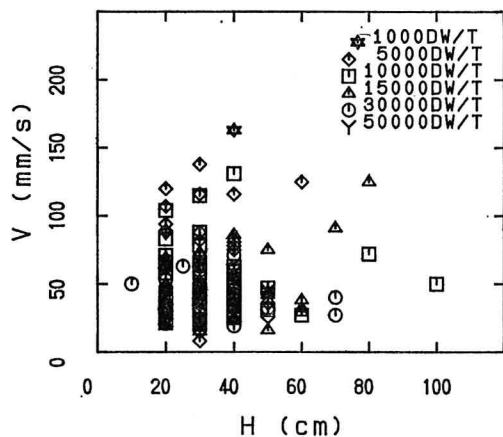
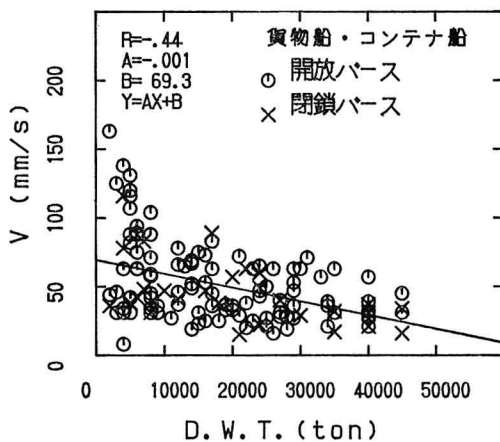
図-3 波高 H と接岸速度 V との関係

図-5 開放バースと閉鎖バースの比較

あり、DWT が増すにつれて V の最大出現値は小さくなることわかる。

(1) 自然条件

調査期間中の波浪の平均的な値は、波高 35 cm、波周期 2.5 sec、平均風速 2.5 m/sec であった。図-3 は波高 H と接岸速度 V との関係を示すものである。図-3 によると、 V は H のみの条件では傾向が見られないことがわかる。これは、波高の大きな時には小型船舶が接岸されることが少ないためと考えられる。図-4 は、平均風速 V_m と接岸速度 V との関係を示すものである。接岸時に岸側から風が吹くと、 V_m が大きくなっても V はとくに大きくなる傾向はみられないのに対して、海側から風が吹く時に、 V_m が大きくなると、5000~15000 D. W. T. 級で V が大きくなることもある。

(2) 接岸条件

図-5 は、矢板式、重力式を閉鎖バース、棧橋式を開放バースと定義して貨物船とコンテナ船について重量トン DWT と接岸速度 V との関係を示したものである。

写真-2 は、7000 D. W. T. 級の貨物船が重力式の閉鎖バースに接近する際に、三角波が発生する様子を示すものである。閉鎖バースは、開放バースに比べ接岸船舶の附加質量が上回り、船舶自体の質量の 1.5 倍程度ある

と言われている(溝口ら, 1973)。図-5 によると、 V は全体に開放バースの方が大きくなり、開放バースの平均で 53 mm/sec、閉鎖バースの平均で 45 mm/sec となる。接岸速度は 1.2 倍程度、これを運動エネルギーで考えれば 1.4 倍程度は大きくなる。

図-6 は、第 1 接岸点 P_f と船首・船尾側接岸速度 V_b , V_s 、防衛工変位量 df との関係を示すものである。

(1)(2) より、 P_f の平均値は、船首側で 0.21 L (L は船長で船舶重心からの距離を示す。以下同様。)、船尾側で 0.23 L となる。これは、技術基準で考えられている 4 分の 1 接岸よりやや小さくなっている。また、 V_b , V_s が大きくなるのは、船首側で 0.15 L、船尾側で 0.3 L 付近で見られ、4 分の 1 接岸で最も接岸速度が大きくなるとは限らない。また、(3) によると、 df の分布は P_f にあまり関係していないことがわかる。

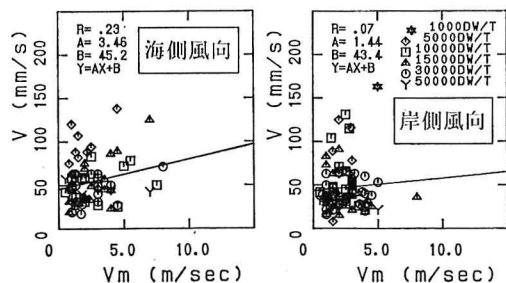
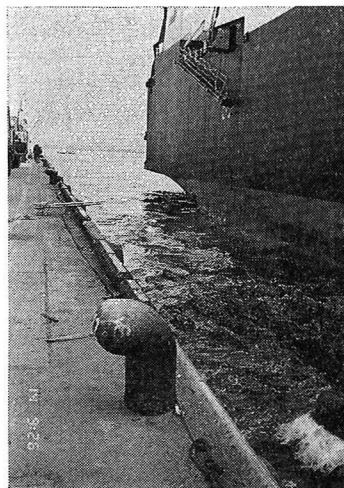
図-4 平均風速 V_m と接岸速度 V との関係

写真-2 接岸時の三角波の発生

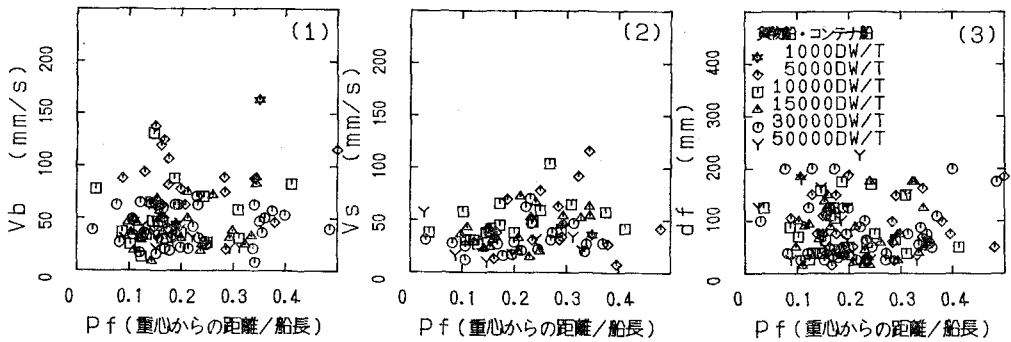


図-6 第1接岸点と接岸速度・防衛工変位量との関係

(3) 船舶条件

図-7 は、バース水深（潮位を考慮）から入港船舶の喫水を引いた余裕水深とバース水深との比 R_c を求め、接岸速度 V との関係を示したものである。図-7 によると、余裕水深比 R_c が大きくなると V が大きくなり易いことがわかる。これは、大型船ほど余裕水深が少ないこともあるが、余裕水深が少なくなると附加質量が増大し、操船しにくくなるという既往調査例（溝口ら，1973；上田，1981）と一致している。とくに、 R_c が 0.5 より小さくなると V が低下するように、附加質量が急に増大することが予想される。また、 R_c が小さい場合には、開放バースと閉鎖バースで V にあまり差が見られなくなるように、余裕水深が小さい場合には附加質量がそもそも大きくなるため、開放バースと閉鎖バースで差が見られにくくなったものと考えられる。

(4) 防衛工変位と接岸エネルギー

図-8 は、船首・船尾側接岸速度 V_b , V_s と（最大）接岸速度 V との関係を示すものである。 V_b と V との相関係数 R は 0.8 程度となり、 V が発生するのは船首側の接岸時に多いことがわかる。図-9 は、船首側の

接岸速度 V_b から式 (1) に示す接岸エネルギー E_e を求め、船首側の防衛工変位量 df_b との関係を示したものである。

$$E_e = C_e \cdot W \cdot V^2 / 2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 C_e は偏心係数で式 (2) で表わされる。 W ($=CM \cdot Wd$) は船舶の仮想重量であり、排水トン Wd と仮想質量係数 CM から求めることができる。 CM については上田 (1981) が提案する式 (3) を用いて求めた。

$$C_e = 1 / \{1 + (l/r)^2\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$CM = 1 + \frac{\pi}{2CB} \times \frac{d}{B} \quad \dots\dots\dots (3)$$

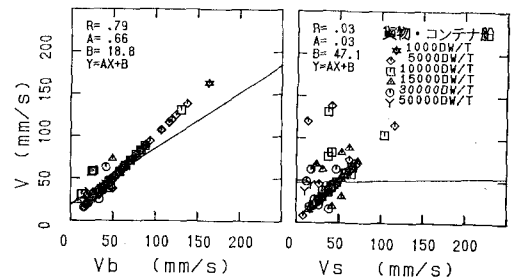


図-8 船首・船尾側接岸速度と最大接岸速度との関係

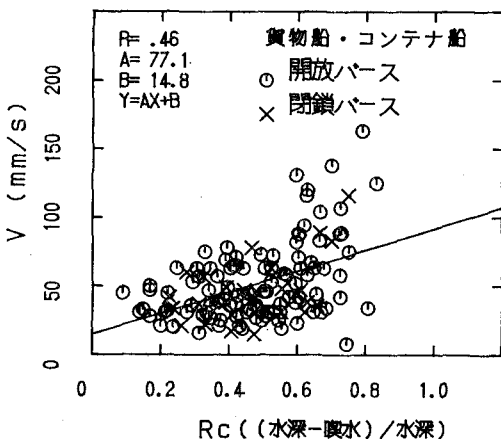
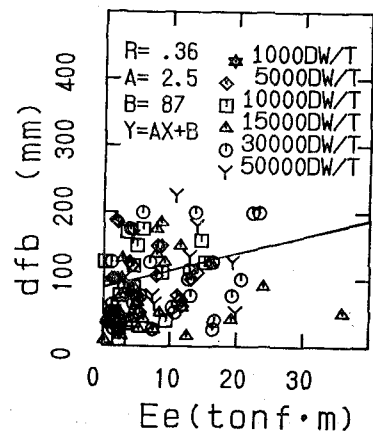
図-7 余裕水深比 R_c と接岸速度 V との関係

図-9 接岸エネルギー

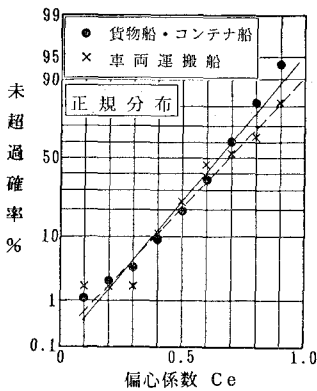
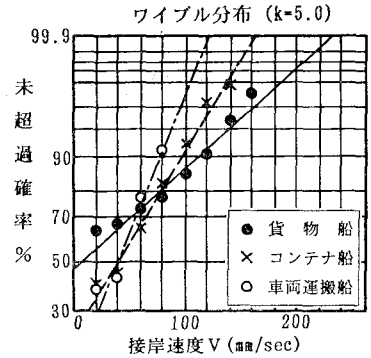
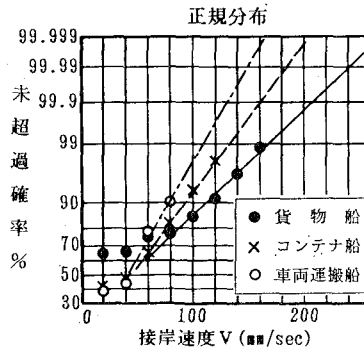
図-10 偏心係数 C_e の出現分布

図-11 接岸速度の頻度分布

ここに、 l は接岸点と船舶の重心との距離のバース法線上の投影長（偏心距離）、 r は船舶の環動半径であり $1/4L$ (L は船長)、 d は喫水、 B は船幅、 CB はブロック係数である。

図-10 に示すように、式 (2) から求めた 偏心係数 C_e は 0.65~0.7 に分布の中心がみられる。

(5) 接岸速度の期待値

上田 (1981) によると、大型タンカーの接岸速度の分布形状はポアソン分布や正規分布に近いが必ずしもそうであるとは言い難いとし、ワイブル分布による当てはめを行なっている。図-11 は、接岸速度 V の出現分布 γv を正規分布と式 (4) に示すワイブル分布 ($k=5.0$) を用いて当てはめたものである。正規分布は、 $V=50$ mm/sec 以上で比較的似ており、調査対象とした 1000~50000 D. W. T. の船舶については、正規分布で接岸速度 V の期待値の算出を行なっても差し支えないと思われる。ワイブル分布は、正規分布に比べると、接岸速度全体で分布形が近くなる。

$$\gamma v = [-\ln\{1-P(H \leq x)\}]^{1/k} \dots\dots\dots (4)$$

4. おわりに

今回の現地調査の結果、最近の接岸状況及び接岸速度 V を把握することができた。主な結論を以下に示す。

- ①開放バースは、閉鎖バースに比べ 1.2 倍程度接岸速度 V が大きくなる。
- ②第 1 接岸点 P_f は 4 分 1 の接岸よりやや小さくなる。
- ③余裕水深比 R_c が 0.5 以下で接岸速度が低下する。
- ④最大接岸速度 V が発生するのは船首側に多い。
- ⑤偏心係数 C_e は 0.65~0.7 に分布の中心がみられる。
- ⑥接岸速度 $V=50$ mm/sec 以上は正規分布、全体はワイブル分布 ($k=5.0$) が比較的良好に当てはまる。

おわりに、本調査に御協力いただいた関係機関及び諸氏に深甚なる謝意を表する次第である、

参 考 文 献

- 上田 茂 (1981): 大型タンカーの接岸力に関する研究, 港研報告, 第 20 巻, 第 2 号, pp. 169-209.
 上田 茂・大井栄二郎 (1987): 港湾の係留施設における防衛工の設計について, 港研資料, No. 596, pp. 1-127.
 社団法人 日本港湾協会 (1989): 港湾の施設の技術上の基準・同解説 改訂版 (上巻), pp. 14-20.
 溝口正仁・中山種清 (1973): 船舶接岸力調査, 港研資料, No. 170, pp. 1-58.