

プレジャーボート用アンカーの把駐性能に関する実験的研究

佐藤治夫

Experimental Study on the Holding Ability of Anchors for Pleasure Boats

Haruo SATO

Abstract

The holding ability of five types of anchor was investigated in relation to the physical properties of the seabed. Experiments were performed using two stockless type anchors (VDR type, VDH type), two stock type anchors (VDS type, DANFORTH type), and a single fluke anchor (VDQ type). These anchors were pulled using the Research Vessels, DAINI-HOKUTO (19t) and HOKUTO (19t). The tension force was measured using a loadcell connected to the towing rope. Sand content was chosen as an index property, and was correlated to the holding ability. The experimental results indicated that the VDQ type anchor showed the highest resistance against pulling for clayey and sandy clay soils, and the VDR type-stockless anchor showed good holding ability against pulling for sandy, clayey and sandy clay soils. The VDR type-stockless anchor can be used for anchoring of pleasure boats.

1. はじめに

近年、プレジャーボートによる海難事故は増加傾向にある(海上保安庁, 2000)。その原因としては操船ミスや気象・海象の判断ミスなどの人為的ミスが考えられる。しかし、錨が効かなくなること(走錨等)によって引き起こされる停泊船同士の接触や、自錨の把駐力の把握不足に起因する錨鎖・錨索の切断などの海難事故は、錨の性能を知っていればある程度防ぐことができると考えられる。また、安全な錨泊をするためには、底質(海底地盤の種類)と錨の把駐力との関係を知ることが重要である。一般に、錨の把駐力 H は、 $H = \lambda \cdot W$ (λ : 把駐力係数, W : 自船の錨の空中重量)で表示され、把駐力係数 λ は海底の底質や錨の形状により決まる値である。また、把駐力は、錨が動く寸前の抵抗力(静止把駐力)ともいえるが、この力を測定することはかなり厄介である。したがって把駐力は実際の海底で錨を曳引し、その把駐抵抗を測定することにより概略の値を求めるのが普通である。故に錨の重量が同じ場合、把駐力を大きくするためには把駐力係数 λ を大きくしなければならないことになる。つまり、安全な錨泊には錨効きのよい底質と高把駐力を得ることができ形状の錨が必要となる。しかし錨の形状によって錨効き

のよい底質となったり、ならなかったりするので底質と錨の形状の関係は複雑である。なおプレジャーボートなどの総トン数20トン未満の小型船に装備すべき錨や錨鎖・錨索は小型船舶安全規則及び細則第45条に規定されている。また、これまで行われてきた安全錨泊のための錨の把駐力に関する研究は、大別して3つに分類される。すなわち、一つは模型実験による錨の把駐性能に関する研究、二つめは海底地盤における錨の研究、三番目は新型錨の開発に関する研究である。しかし、錨の把駐力を海底土の物理的性質から検討した研究は少ない。本論文は、海底地盤における錨の曳引測定結果を土質工学的観点から比較検討したものである。

今回、清水港内外の海域で、5種類の形状の異なるプレジャーボート用アンカーの把駐力を測定する機会を得た。実験に用いたプレジャーボート用アンカーは、市販のローター・ウイング・アンカー(以後VDR型錨という)、デルタ・ハイテン・アンカー(以後VDH型錨という)、デルタ・ストック・アンカー(以後VDS型錨という)、ダンフォース型アンカー(以後DF型錨という)およびデルタ・クイック・アンカー(以後VDQ型錨という)である。なお、今回の実験に用いたアンカーは5種類のみで小型船で使用されているアンカー全てを網羅しているものではないことをお断りしておく。

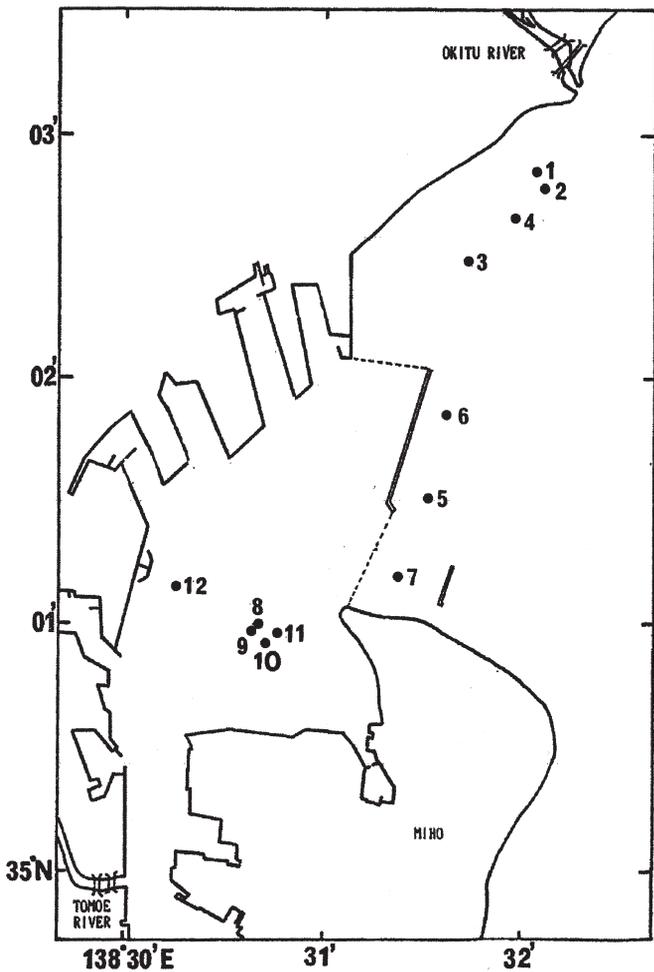


Fig. 1 Experimental sites

錨の曳引実験は、清水港内外の12測点 (Fig. 1 参照) で実施し、5 錨の把駐抵抗が測定された。また、錨効きの指標となる H_p/W 値 (H_p : 最大把駐抵抗, W : 錨の空中重量) を求めた。すなわち、 H_p/W 値を把駐力係数 λ と考えた場合、 H_p/W 値が大きい錨は錨効きがよい錨と定義することができる。また、底質は様々な粒径粒子の混合体であることから、砂と泥の混合比による分類がなされる (本田, 1986)。それによると12測点の底質は、4 測点 (St. 1~4) が砂質土 (砂の含有量が67~100%)、3 測点 (St. 5~7) が泥砂質土 (砂の含有量が25~50%) と砂泥質土 (砂の含有量が50~67%)、5 測点 (St. 8~12) が泥質土 (砂の含有量が0~25%) である。本論文では泥砂質土と砂泥質土をまとめて砂泥質土として扱う。さらに各錨の錨効きを調べるため H_p/W 値と底質との関係を比較検討した。その結果若干の知見を得たので報告する。なお12測点は、過去に底質分析が行われている場所と同一場所であることから今回は採泥を実施しなかった。当時の採泥にはスミスマッキンタイヤー型採泥器を使用した。

2. 実験方法

実験は、2000年の8月8、23日、9月5日の3日間 (VDR型錨とVDH型錨の実験)、2001年の8月2、3日の2日間 (VDS型錨とDF型錨の実験) と2002年9月3日 (VDQ型

錨の実験) の合計6日間で実施したものである。

錨の曳引は、曳索に20mmのクレモナロープを用い、錨が水平に引かれるようにするために錨のすぐ後ろにチェーン (径: 10mm, 長さ: 3.7m) とワイヤーロープ (径: 10mm, 長さ: 5m) を連結し、海底に対する曳索の傾角が約 10° になるように曳索の長さを調節した。錨は錨爪を海底に搔かせるため、水深の1.5倍の曳索を伸ばした時点で伸長を止め、錨爪の搔き込みを感じた後、予定の曳索を伸出する方法をとった。把駐抵抗はロードセルで測定し、レコーダーに描かせた把駐抵抗曲線の最大把駐抵抗値を最大把駐抵抗 H_p とした。錨の曳引に使用した船舶は小型舟艇 (G.T. 19トン) で、曳引速度は約1ノット (約50cm/s) 前後である。VDR型錨、VDH型錨、VDS型錨およびVDQ型錨の空中重量は8kgで、DF型錨は7kgである。各錨の主要寸法はFig. 2, Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5, およびFig. 6に示す通りである (中村技研工業, 2001)。なお、2001年の実験では砂泥質土のSt. 7での測定を、2002年度の実験では泥質土のSt. 8での測定は実施しなかった。

3. 粒度分析

Table 1に過去に実施された底質の分析結果を示す (佐藤, 1989)。St. 1~St. 4が砂質土、St. 5~St. 7が砂泥質土、St. 8~St. 12が泥質土の地盤である。表中の含水比はJIS A 1203の方法により求め、含砂率は、含水比を求めた資料を用い各試料ごとに $63\mu\text{m}$ の標準網フルイで分け、残ったものを砂として全乾燥試料に対する重量比率で求めた。粒度分析は、細粒分 (粒径 $63\mu\text{m}$ 以下) はピペット法で、粗粒分はフ

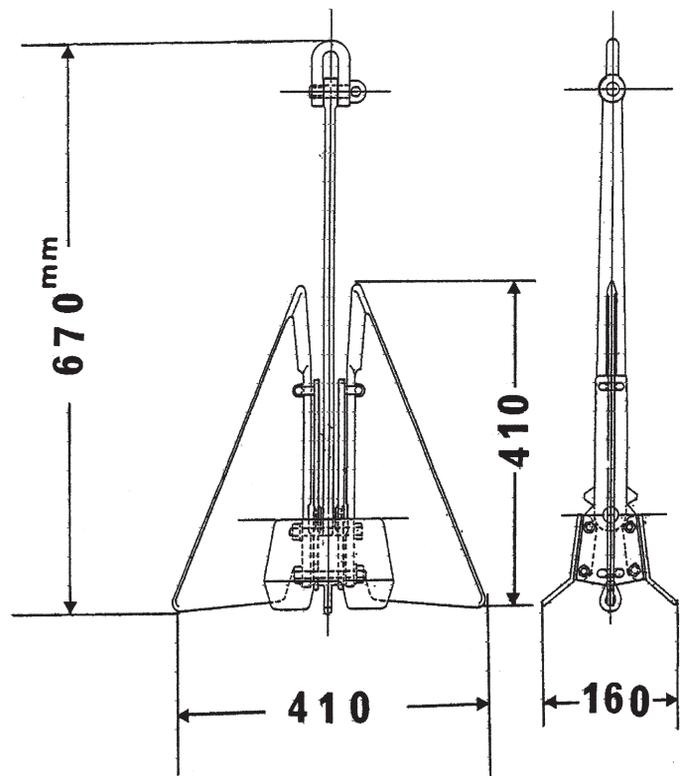


Fig. 2 VDR type anchor

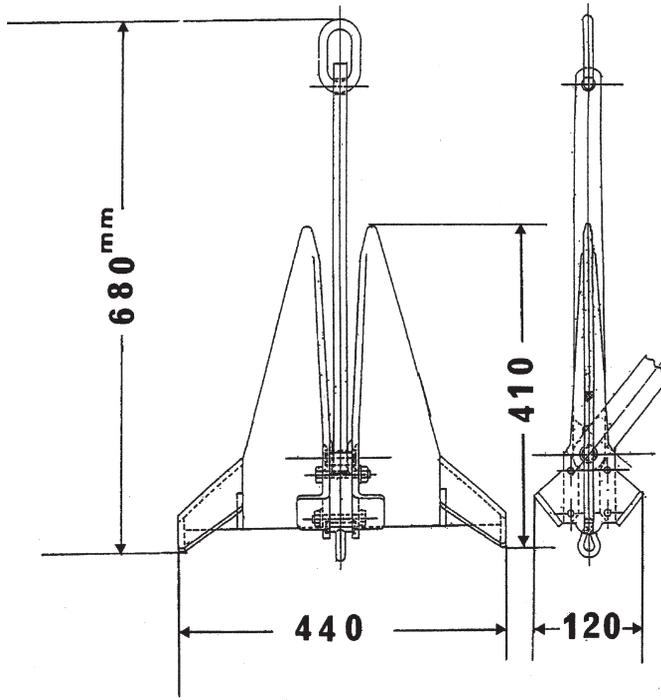


Fig. 3 VDH type anchor

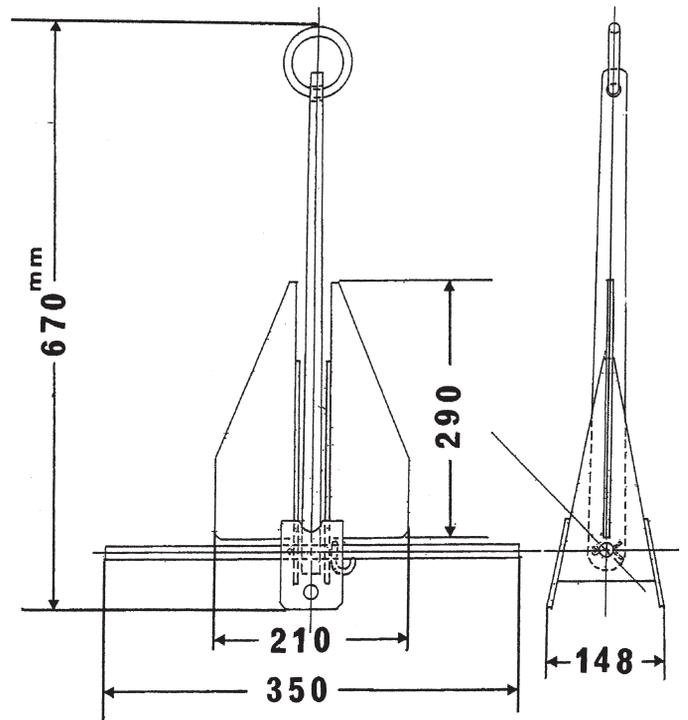


Fig. 5 DF type anchor

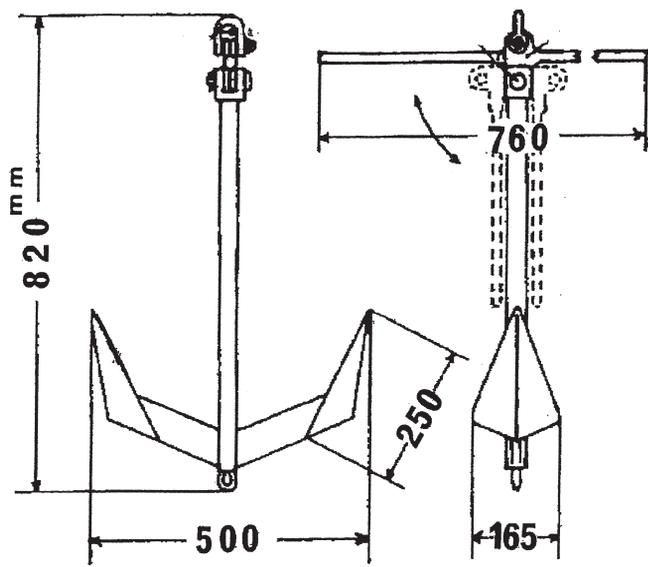


Fig. 4 VDS type anchor

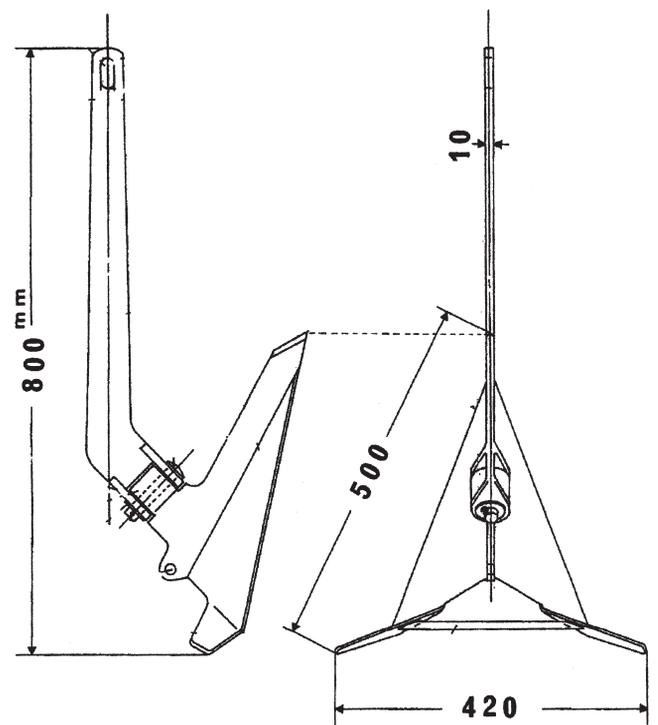


Fig. 6 VDQ type anchor

Table 1. Results of soil analysis

St. No	Lat. (N)	Long. (E)	Dep. (m)	Md ϕ	M ϕ	$\sigma\phi$	WCR(%)	SCR(%)
St. 1	35-02.83	138-32.05	8.0	3.30	3.25	0.55	36.0	92.6
St. 2	35-02.77	138-32.12	11.0	3.30	3.30	0.50	35.0	90.1
St. 3	35-02.49	138-31.70	10.0	3.10	3.05	0.55	33.0	94.3
St. 4	35-02.64	138-31.90	10.0	3.20	3.15	0.45	35.0	87.7
St. 5	35-01.52	138-31.52	27.0	3.90	3.95	3.25	45.0	54.8
St. 6	35-01.84	138-31.79	25.0	3.90	4.05	0.75	49.0	48.3
St. 7	35-01.17	138-31.34	25.0	3.50	4.65	1.85	53.0	54.5
St. 8	35-01.10	138-30.65	28.0	6.50	6.15	0.55	129.0	1.2
St. 9	35-00.97	138-30.66	27.0	6.50	6.15	0.55	123.0	1.2
St. 10	35-00.92	138-30.70	27.0	6.30	6.10	0.60	113.0	1.6
St. 11	35-00.95	138-30.77	27.0	6.40	5.95	0.75	113.0	4.5
St. 12	35-01.16	138-30.25	24.0	5.90	6.50	1.80	104.0	5.8

ルイ（フルイ目0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0mm）分けによる方法を用い、分析結果に基づき、WENTWORTHの粒径区分（Wentworth, 1922）に、KRUMBEINによって定義された ϕ スケールの値（Krumbein, 1934）を用いて、INMAN and CHAMBERLAINの計算式（Inman and Chamberlain, 1956）から、中央粒径値Md ϕ 、平均粒径値M ϕ および淘汰度 $\sigma\phi$ を求めた。なお ϕ 値が3～4は、粒径が1/8～1/16mmの極細砂であり、4～8は、粒径が1/16～1/256mmのシルトである。中央粒径値とは、粒度累積曲線の中央値で、たとえば中央値が3 ϕ であれば粒径1/8mm以上の量が全量に対して50%を占めることを意味する。平均粒径値とは、粒度累積曲線の平均値で、全量に対して16%の量を占める ϕ 値と84%の量を占める ϕ 値を足して2で割った値である。淘汰度とは種々の粒径の混ざり具合を表すもので値が小さい程、均一の粒径の土であるといえる。

4. 結果と考察

Table 1 からわかるように、St. 1～St. 4の砂質土の4測点は平均粒径値が3.05～3.30と、粒径が1/8～1/16mmの極細砂の底質で、含水比も33～36%と小さい。St. 5～St. 7の砂泥質土の3測点は平均粒径値が3.95～4.65、粒径が1/16～1/32mmの範囲の極細砂寄りのシルト底質で、含水比も45～53%と小さい。St. 8～St. 12の泥質土の5測点は平均粒径値が5.95～6.50、粒径が1/64～1/128mmの範囲にあるシルトの中でも中位の粒径の底質である。含水比は104～129%と大きく、軟らかい地盤といえる。

Table 2 に5錨の砂質土、砂泥質土、泥質土における H_p/W 値の平均値（砂質土は4測点、砂泥質土は3測点、

Table 2. Means of H_p/W for each anchor.

	Sandy soil	Sandy clay soil	Clayey soil
VDR type	30.5	32.1	36.2
VDH type	11.8	25.8	35.7
VDS type	25.1	18.3	19.8
DF type	3.3	5.4	24.3
VDQ type	3.8	54.7	48.5

泥質土は5測点の平均値)を示す。

Fig. 7 に VDR 型錨の H_p/W 値と含砂率の関係を示す（佐藤, 2002a）。図の回帰式は、

$$H_p/W = -0.07 \cdot S_c + 36.26 \quad (1)$$

となる。ここで、 S_c は含砂率である。

Table 2 よりわかるように VDR 型錨は、それぞれの底質で H_p/W 値の平均値が30以上であった。また、Fig. 7 はそれぞれの底質に対する H_p/W 値に多少のばらつきがあることを示しているが一次回帰直線の傾きは-0.07と小さく、今回実施されたそれぞれの底質での VDR 型錨の錨効きはほぼ同じであるといえる。

錨効きを論ずる場合、 H_p/W 値が大きいほど錨効きがよいということになるが、今回の実験で得られた砂質土30.5、砂泥質土32.1、泥質土36.2という VDR 型錨の H_p/W 値の値が、大きい小さいかを判断するため、小型船用の錨の把駐力に関する海上実験がほとんど行われていない現状もあるが、日本小型船舶検査機構の研究レポート「新型アンカーの性能」の調査試験結果（日本小型船舶検査機構, 1999）と比較する。

研究レポートで使用された錨は、東大生産型アンカー、ダンフォースアンカー、ダンフォース型アンカー、CQR アンカー、ブルースアンカー、フォールディングアンカー、日本型アンカー（唐人錨）の7種類で、これらの中で一番大きい H_p/W 値を示したのは、ダンフォースアンカーの14.2（牽引仰角24°）であった。この値と単純に比べた場合、VDR 錨の錨効きはよいといえる。ただし、日本小型船舶検査機構の調査試験は、陸上におけるもので海上実験とは実験方法も異なり、実験地盤も単一の砂である。またアンカーの空中重量も不明である。しかし、調査試験および本論の海上実験に使用された錨は、小型船が実際に海上で用いる錨であり、含砂率等の地盤の性質が違うだけととらえれば比較できると考える。ここでいう牽引仰角とは、アンカーを牽引する場合の牽引ロープと実験地盤とのなす角度である。海上実験では海底と曳引ロープとのなす傾斜角度は約10°になるように調節した。実際の錨泊では、アンカー・ロープの傾斜角度によってアンカーの効きに影響があるといわれている（日本小型船舶

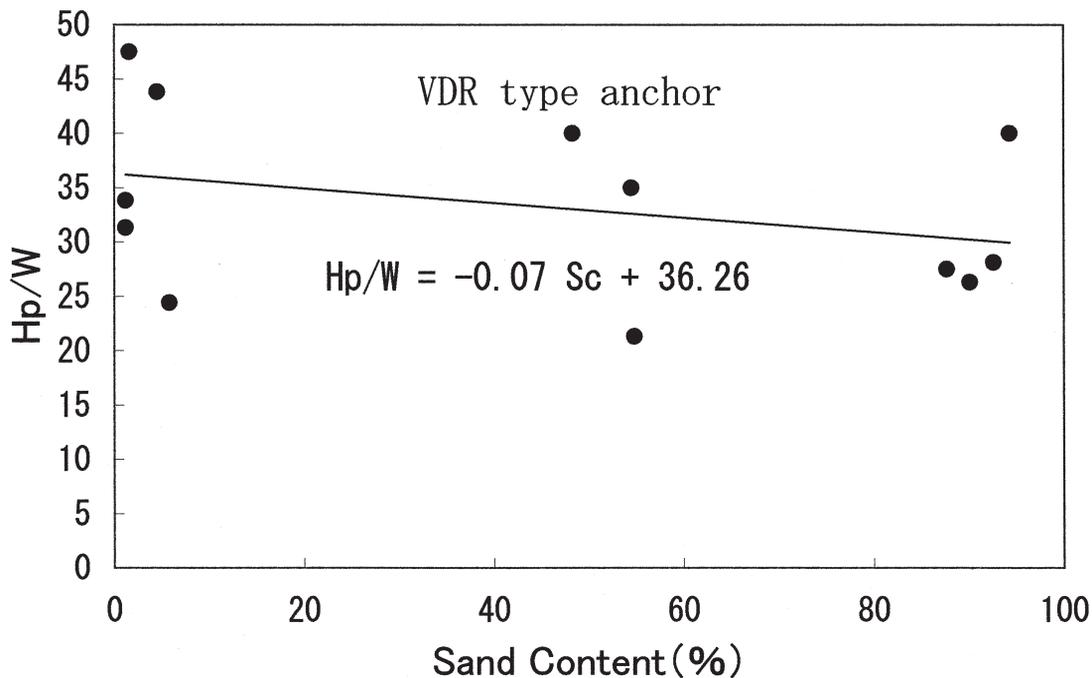


Fig. 7 The relationship between seabed and H_p/W of VDR type anchor

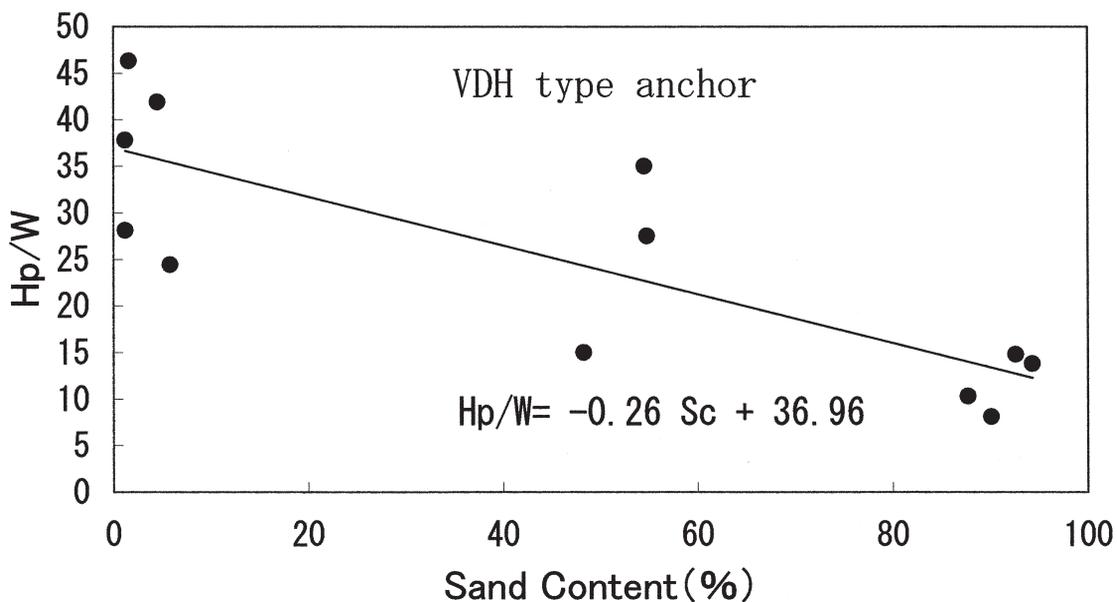


Fig. 8 The relationship between seabed and H_p/W of VDH type anchor

検査機構, 1998)。また, アンカーの効きは, アンカーロープと海底のなす傾斜角度が小さいほど良くなるともいわれている (日本小型船舶検査機構, 1998)。この点は今後検討する課題でもある。

今回, VDR 型錨がそれぞれの底質で高い H_p/W 値を示した理由は, 錨爪 (wingpalm) が鋭く, 締まった砂質土でもよく掻き込む形状 (逆V字型になる) のためと考えられる。特に砂質土では土の実際の破壊面 (せん断面) が大きくなるため把駐抵抗が増加すると考えられる。

Fig. 8 に VDH 型錨の H_p/W 値と含砂率の関係を示す (佐藤, 2002a)。図の回帰式は,

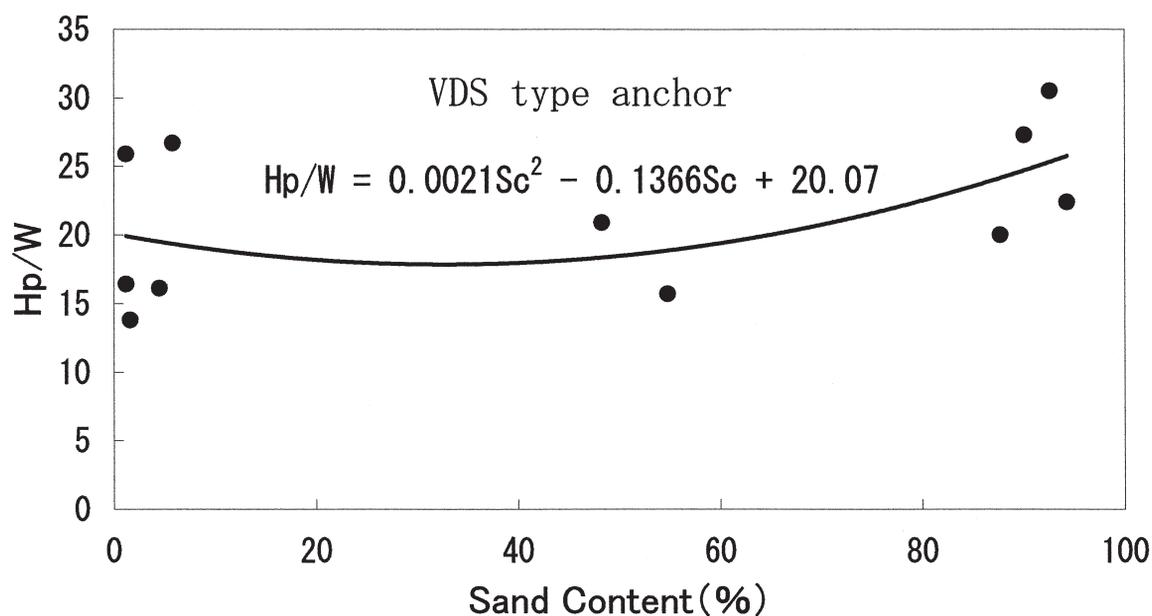
$$H_p/W = -0.26 \cdot S_c + 36.96 \quad (2)$$

となる。

VDH 型錨は, Table 2 よりわかるように砂質土では H_p/W 値の平均値が 11.8 と小さく, 錨効きがよくないことを示した。また, Fig. 8 は H_p/W 値の実験値に多少のばらつきはあるものの含砂率が大きくなるほど VDH 型錨の H_p/W 値が小さくなることを示している。これは VDH 型錨の錨全体の形状が砂質土に掻き込みにくい形状であると考えられる。しかし, Table 2 からわかるように VDR 型錨と VDH 型錨とも泥質土では, H_p/W 値の平均値がそれぞれ 36.2 と 35.7 ほぼ同じような値を示した。これは一般に泥質土では錨爪の受圧面積が把駐抵抗の大小に影響を与える (佐藤・福江, 1997) ということからいえば, 両錨の爪全体の面積がほとんど変わらないことが要因と考えられる。つまり泥

Table 3. Surface area of each anchor.

VDR type	VDH type	VDS type	DF type	VDQ type
840.5	740.8	412.5	404.3	647.0

Fig. 9 The relationship between seabed and H_p/W of VDS type anchor

質土に錨泊する場合は、どちらの錨を使用しても錨効きはほぼ同じと考えてよいであろう。Table 3 に各錨の概略の表面積を示す。

Fig. 9 に VDS 型錨の H_p/W 値と含砂率の関係を示す (佐藤, 2002b)。図の回帰式は、

$$H_p/W = 0.0021 \cdot S_c^2 - 0.1366 \cdot S_c + 29.07 \quad (3)$$

となる。

VDS 型錨は、Table 2 よりわかるように砂泥質土で H_p/W 値の平均値が18.3と若干小さくなることを示した。しかし、砂質土では25.1と VDR 型錨について錨効きがよいといえる。また、泥質土では19.8と DF 型錨よりも小さい値を示した。これは VDS 型錨の錨全体の形状が砂質土に掻きこみ易く、泥質土では抵抗となる錨爪の受圧面積が一番小さくなるからと考える (Fig. 3 参照)。

Fig. 10 に DF 型錨の H_p/W 値と含砂率の関係を示す (佐藤, 2002b)。図の回帰式は、

$$H_p/W = 0.0033 \cdot S_c^2 - 0.5485 \cdot S_c + 25.602 \quad (4)$$

となる。

DF 型錨は、Table 2 よりわかるように砂質土および砂泥質土では H_p/W 値の平均値が3.3, 5.4と小さく、錨効きがよくないことを示した。しかし、泥質土では24.3と VDS 型錨の砂質土 (H_p/W 値が25.1) に匹敵するような H_p/W 値を示した。これは DF 型錨の表面積は VDS 型錨より若干小さいが、受圧面積では DF 型錨の方が大きくなるからと考える。

Fig. 11 に VDQ 型錨の H_p/W 値と含砂率の関係を示す。図の回帰式は、

$$H_p/W = -0.0152 \cdot S_c^2 + 0.9308 \cdot S_c + 46.085 \quad (5)$$

となる。

VDQ 型錨は、Table 2 よりわかるように砂泥質土および泥質土で H_p/W 値の平均値が54.7と48.5と一番大きい値を示した。しかし砂質土では3.8と錨効きはよくなかった。これは VDQ 型錨の形状 (左右のスタビライザーと V 型爪) が砂泥質土および泥質土に適していると考えられる。しかし、砂質土では爪に垂直についているフレームと左右のスタビライザーが邪魔となり、錨が海底に掻き込まず表面を滑るような状態で曳引されたと考える。次に錨と底質との関係であるが、 H_p/W 値の平均値の大きさが、泥質土 > 砂泥質土 > 砂質土の順になる錨は VDR 型錨, VDH 型錨および DF 型錨である。しかし VDS 型錨は砂質土が一番大きく、VDQ 型錨は砂泥質土が一番大きかった。このように錨の形状によって錨効きのよい底質が相違することがわかった。しかし、過去に調査した大型船用のアンカー (JIS 型ストックレスアンカー, 空中重量100kg と300kg の2種類) の H_p/W 値は、概略泥質土で2~3, 砂泥質土で3~7, 砂質土で3~5と小さい (鈴木ほか, 1986; 佐藤, 1991; 佐藤, 1992)。それに比べプレジャーボート用アンカーの H_p/W 値は、Table 2 に示したように大きい値を示した。また、大型船用の錨効きの順番は砂泥質土 > 砂質土 > 泥質土であり、今回の実験結果と異なるものであった。これは大型船の錨と小型船の錨とでは形状や強度が違うなどの比較することが難しい面があるの

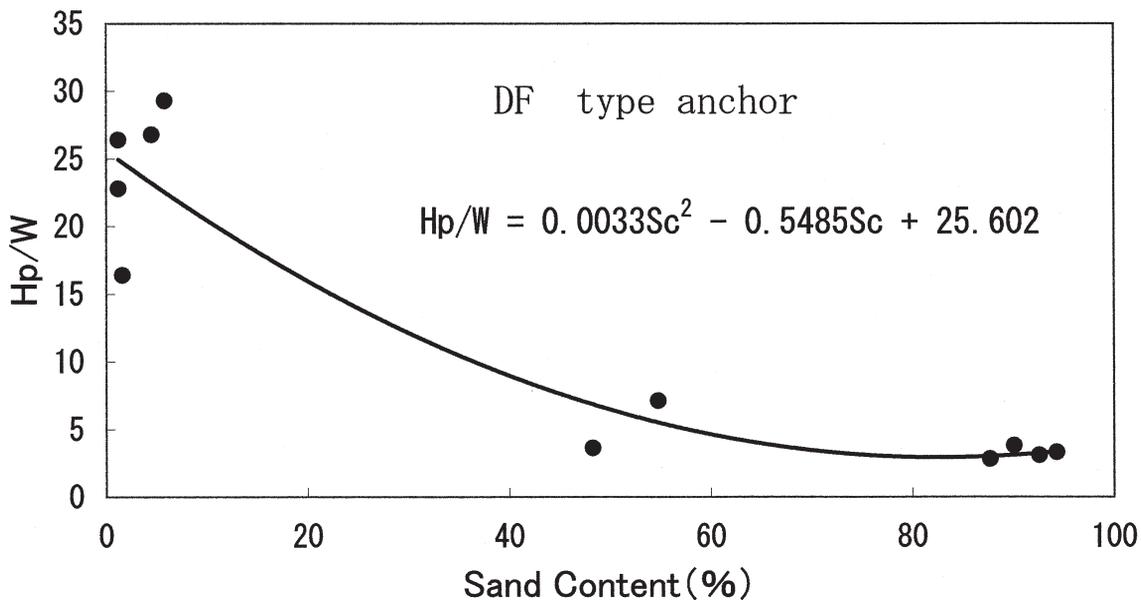


Fig. 10 The relationship between seabed and H_p/W of DF type anchor

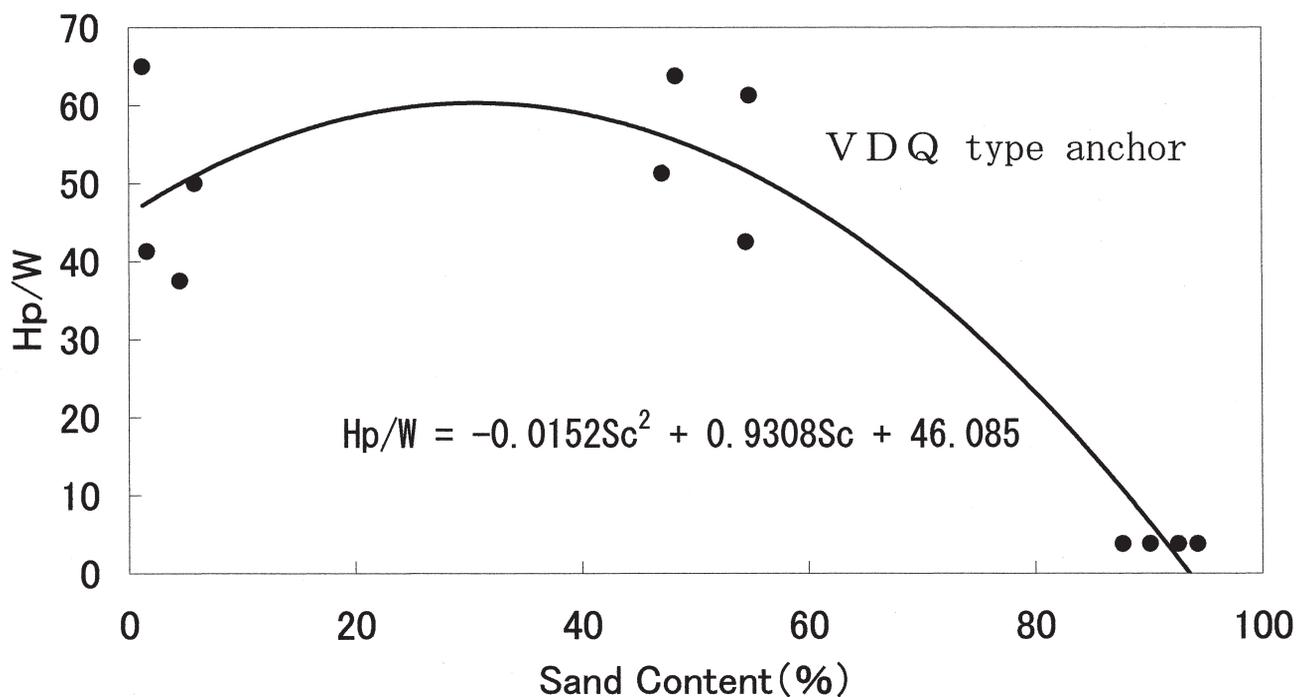


Fig. 11 The relationship between seabed and H_p/W of VDQ type anchor

で H_p/W 値の大きさだけでその優劣をいうことはできないと考えられる。今後は H_p/W 値（錨効き）の表示方法を大型船用と小型船用に分ける必要があると考える。

5. まとめ

今回、市販の形状の異なる5種類のプレジャーボート用アンカーの把駐力を測定する機会が得られ、各錨の把駐力と海底の底質との関係を比較検討することができた。また、 H_p/W 値と底質（含砂率）の関係を示す変化曲線の形が、錨の種類で違うことがわかった。実験で得られた結果から、各錨の錨効きを含砂率の点から見てまとめると下記ようになる。

- 1) 砂質土での錨効きは、VDR型錨>VDS型錨>VDH型錨>VDQ型錨>DF型錨の順となり、砂質土に錨泊する場合はVDR型錨を使用した方がよい。
- 2) 泥質土での錨効きは、VDQ型錨>VDR型錨>VDH型錨>DF型錨>VDS型錨の順となり、泥質土ではDF型錨を使用してもある程度の錨効きが得られる。
- 3) 砂泥質土での錨効きは、VDQ型錨>VDR型錨>VDH型錨>VDS型錨>DF型錨の順となり、DF型錨以外であればそれ相応の錨効きが得られると考える。
- 4) VDR型錨は、今回実施された砂質土、砂泥質土、泥質土のすべての底質でよい錨効きを示した。プレジャーボートやヨットなどの小型船の安全錨泊を考えるならば、

装備したほうがよい錨の一つと考える。

今後の課題として、プレジャーボートおよびヨットの主な係留地（河口錨地：浜名湖のような汽水域）での底質と錨効きの調査の必要があると考える。

謝 辞

有益な助言と校閲を賜った東海大学海洋学部名誉教授の鈴木常夫博士に厚く謝意を表します。また土質関係についてご教示を賜った東海大学海洋学部海洋土木工学科教授の福江正治博士に厚くお礼申し上げます。さらに実験に熱心に協力していただいた本学科の卒業研究生に深謝すると共に実験でお世話になった小型舟艇の乗組員の方々に厚くお礼申しあげます。

参考文献

- 本田啓之輔 (1986)：操船通論。成山堂書店，東京，269pp。
 Inman, D. L. and T. K. Chamberlain (1956): Particlesize distribution in nearshore sediments. *Finding Ancient Shorelines*, 106-129.
 海上保安庁警備救難部航行安全課 (2000)：プレジャーボート等の海難の現状。海と安全，第34巻7月 No. 498, 2-5。

- Krumbein, W. C. (1934): Size frequency distribution of sediments. *J. of Sed. Petrol.*, 4, 65-77.
 中村技研工業 (2001)：Vulcan Delta High Holding Anchor. 中村技研工業，東京，2pp.
 日本小型船舶検査機構 (1998)：ANCHOR.日本小型船舶検査機構，東京，10pp.
 日本小型船舶検査機構 (1999)：新型アンカーの性能。JCIテクニカルレポート，NO. 1, 2-3.
 佐藤治夫 (1989)：避泊錨地としてみた清水港の評価。東海大学紀要海洋学部，第29号，97-110。
 佐藤治夫 (1991)：底質からみた東京湾の錨効き。日本航海学会誌「航海」，第109号，1-7。
 佐藤治夫 (1992)：底質からみた大阪湾の錨効き。東海大学紀要海洋学部，第34号，23-32。
 佐藤治夫，福江正治 (1997)：粘性土における錨の把駐力の表示法について。日本航海学会論文集，第97号，251-257。
 佐藤治夫 (2002a)：ボート・ヨット用アンカーの把駐性能に関する実験的研究。日本沿岸域学会論文集，14，175-180。
 佐藤治夫 (2002b)：小型用アンカーの把駐性能に関する実験的研究。日本航海学会論文集，第107号，339-345。
 鈴木常夫・佐藤治夫・鈴木金弥・佐藤志郎・川島久・河内尚 (1986)：海底土と錨効きの実験研究。日本航海学会誌「航海」，第87号，95-102。
 Wentworth, C. K. (1922): A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. of Geology*, 30, 377-392.

要 旨

本論文はプレジャーボート用アンカーの把駐性能を，アンカーの把駐力と底質（含砂率）との関係から検討することを目的としている。実験では5種類のアンカー（ローター・ウイング・アンカー，デルタ・ハイテン・アンカー，デルタ・ストック・アンカー，ダンフォース型アンカーおよびデルタ・クイック・アンカー）の把駐性能について比較検討を行った。把駐抵抗（把駐力）は，アンカーを小型船（19トン）の船尾より曳引し，その曳索張力をロードセルで測定し求めた。その結果，泥質土および砂泥質土の底質で，デルタ・クイック・アンカーが一番大きい把駐抵抗を示した。また，ローター・ウイング・アンカーは砂質土，砂泥質土および泥質土の底質すべてで高い把駐抵抗を示した。このことからローター・ウイング・アンカーは，プレジャーボートに装備すべきアンカーと考える。