「海―自然と文化」東海大学紀要海洋学部　第３巻第３号　31-39頁（2005）
Journal of The School of Marine Science and Technology, Tokai University, Vol.3, No.3, pp. 31-39, 2005

錨の把駐性能に関する一考察

佐藤治夫*1

A Study on The Holding Capacity of Anchors

Haruo　SATO

Abstract

The holding capacity of three types of anchor was examined in relation to the sand content of the seabed. Experiments were performed using three stockless type anchors (JIS type, AC-14 type and DA-1 type). These anchors were pulled using the Research Vessels, HOKUTO (19t). The tension force was measured using a loadcell connected to the towing rope. The sand content of the seabed was chosen as an index property, and was correlated to the holding capacity. The experimental results indicated that the DA-1 type-stockless anchor showed the highest resistance against pulling for clayey and good holding capacity for sandy soils, and the AC-14 type-stockless anchor showed the highest resistance against pulling for sandy and sandy clay soils. The DA-1 type-stockless anchor can be used for anchoring vessels.

１．はじめに

昨年10月に航海訓練所の練習帆船海王丸が台風による風浪で走錨し，乗り揚げた海難事故はまだ記憶にあたらしい．この乗り揚げ事故に代表されるように台風や低気圧などの風浪によって引き起こされる走錨等の海難事故は，毎年繰り返し起きている．その原因として自錨の把駐性能や錨の把駐力と海底地盤との関係に関する知識不足や気象・海象の判断ミスなどの人為的ミスが考えられる．そう考えると，走錨（錨が効かなくなること）によって引き起こされる錨泊船同士の接触や乗り揚げなどの海難事故は，錨の把駐性能に関する知識があればある程度防ぐことができると思われる．それ故，安全な錨泊を目指すための必須条件は，底質（海底地盤の種類）と錨の把駐力との関係を知ることである．一般に，錨の把駐力Ｈは，Ｈ＝λ・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．一方，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，錨の把駐力を求める場合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．また，把駐力Ｈ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．つまり，安全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る形状の錨が必要となる．しかしながら錨の形状と底質の相互作用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非常に複雑である．これまで行われてきた安全錨泊を目的にした錨の把駐力に関する研究は，大別して３つに分類される．一つ目は模型実験による錨の把駐性能に関する研究，二つ目は実際の海底地盤における錨の研究，三つ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含砂率と粒径の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，大型船で実際に使用されている船用錨の小型アンカーを使用して，その把駐力を測定する機会を得た．実験に用いた小型アンカーは，JIS-A型ストックレスアンカー（以後JIS型錨という），JIS-B型ストックレスアンカー（以後AC-14型錨という），DA-1型ストックレスアンカー（以後DA型錨という）の３種

2006年１月16日受理
＊1　東海大学海洋学部航海工学科航海専攻（Department of Nautical Engineering, Course of Navigation, The School of Marine Science and Technology, Tokai University）

類である．

錨の曳引実験は，清水港内外の14測点（Fig. 1 参照）で行い，各錨の把駐抵抗を測定した．また，錨効きを論じる場合の指標にするため，H_p（最大把駐抵抗）を W（錨の空中重量）で除した H_p/W 値（以後 H_p/W 値という）を求めた．すなわち，H_p/W 値は把駐力係数 λ であり，それが大きい錨は錨効きがよいといえる．

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14測点の底質は，5測点（St. 1〜5）が砂質土（砂の含有量が 67〜100%），4測点（St. 6〜9）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. 10〜14）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ことにする．さらに各錨の錨効きを論ずるため 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14測点は，過去に底質分析が行われている場所と同じであることから今回

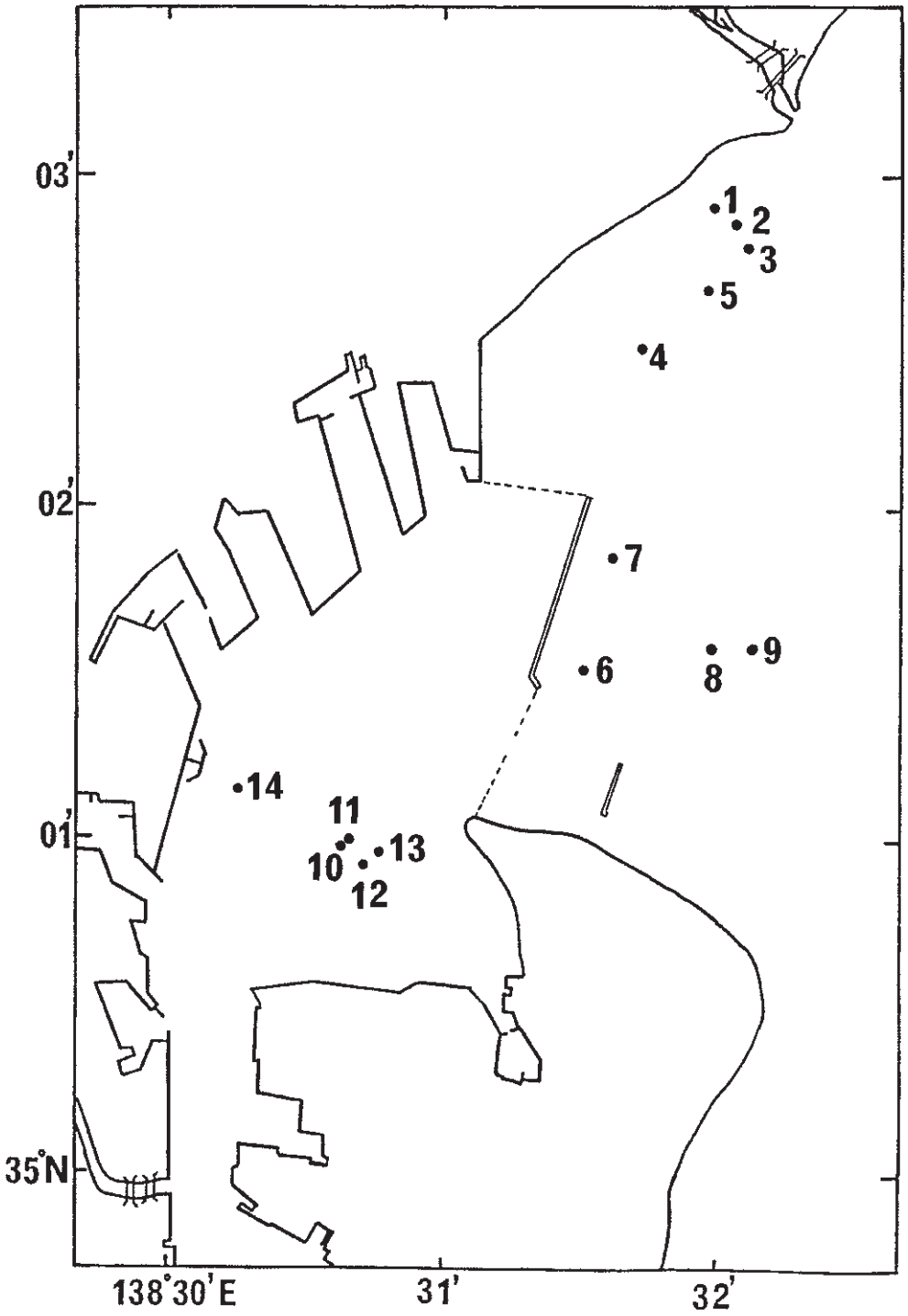

Fig. 1 Experimental sites.

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

St. 1〜5，St. 10〜14 の砂質土地盤と泥質土地盤での実験は2003年 8 月18日に，St. 6〜9 の砂泥質土地盤での実験は2003年 9 月 9 日に実施したものである．

錨の曳引には曳索に 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錨のすぐ後ろに鋼鉄製チェーン（径：10mm，長さ：3.7m）とワイヤーロープ（径：10mm，長さ：5 m）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．さらに錨爪を海底に掻かせるため，水深の 1.5 倍の曳索を伸ばした時点で伸長を止め，錨爪の掻き込みを感じた後，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．各錨とも空中重量は 15kg である．各錨の主要寸法は Fig. 2，Fig. 3，Fig. 4 に示す通りである（中村技研工業，2001）．

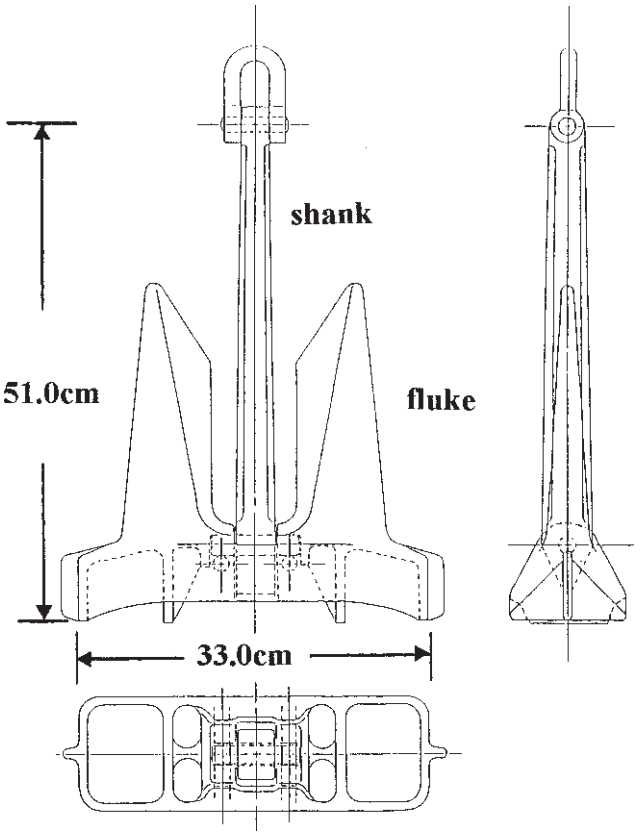

Fig. 3　JIS-B（AC-14）type anchor.

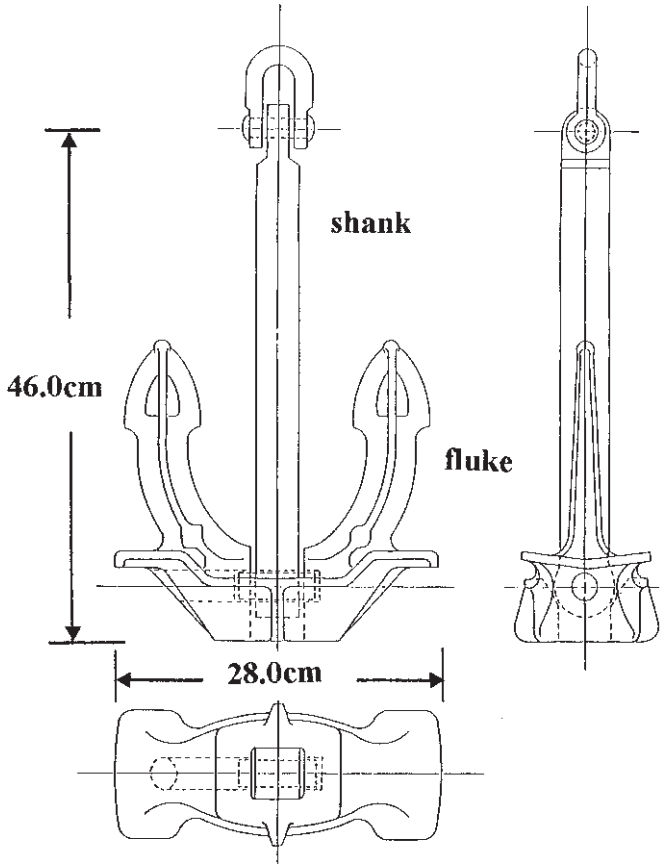

Fig. 2　JIS-A（JIS）type anchor.

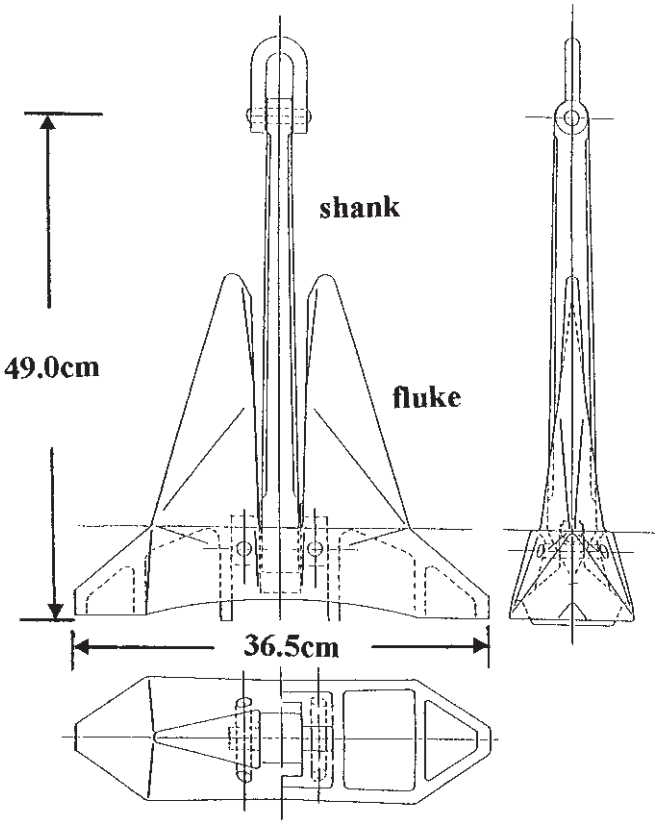

Fig. 4　DA-1（DA）type anchor.

3．結果と考察

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. 5 が砂質土，St. 6～ St. 9 が砂泥質土，St. 10 ～ St. 14 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，含水比を求めた試料を用い，試料ごとに 63μm 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 63μm 以下）はピペット法で，粗粒分はフルイ（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 σ_ϕ 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 3ϕ 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．

Table 1 からわかるように，St. 1～St. 5 の砂質土の 5 測点は平均粒径値が 3.05～3.40 と，粒径が 1/8～1/16mm の極細砂の底質で，含水比も 33～39% と小さい．St. 6～St. 9 の砂泥質土の4測点は平均粒径値が 3.95～5.10，粒径が 1/16～1/32mm の範囲で極細砂寄りのシルト底質であり，含水比も 45～50% と小さい．St. 10～St. 14 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 に各錨の測点毎の H_p/W 値を示す．ここでいう H_p は，錨曳引時にロードセルで測定された把駐抵抗をレコーダーに描かせた場合の把駐抵抗曲線の最大把駐抵抗値であり，W は各錨の空中重量である．H_p/W 値は最大把駐抵抗 H_p を錨の空中重量 W で除した値である．

Table 3 に各錨の砂質土，砂泥質土，泥質土における H_p/W 値の平均値（砂質土は 5 測点，砂泥質土は 4 測点，泥質土は 5 測点の平均値）を示す．

Table 2. H_p/W of each anchor.

St. No	JIS	AC-14	DA
St. 1	12.0	13.0	14.0
St. 2	10.0	8.0	10.7
St. 3	9.3	14.7	12.0
St. 4	9.3	14.7	10.7
St. 5	7.3	14.3	15.7
St. 6	5.3	10.0	10.0
St. 7	5.3	13.3	7.3
St. 8	4.3	8.7	7.3
St. 9	5.3	10.7	10.0
St. 10	2.7	8.3	12.0
St. 11	3.3	8.0	10.3
St. 12	4.7	11.3	12.7
St. 13	3.7	6.3	10.3
St. 14	5.3	6.7	9.7

Table 1. Results of soil analysis.

St. No	Lat. (N)	Long. (E)	Dep. (m)	Md_ϕ	M_ϕ	σ_ϕ	WCR (%)	SCR (%)
St. 1	35-02.90	138-32.00	6.0	3.50	3.40	0.40	39.0	92.6
St. 2	35-02.83	138-32.05	8.0	3.30	3.25	0.55	36.0	92.6
St. 3	35-02.77	138-32.12	11.0	3.30	3.30	0.50	35.0	90.1
St. 4	35-02.49	138-31.70	10.0	3.10	3.05	0.55	33.0	94.3
St. 5	35-02.64	138-31.90	10.0	3.20	3.15	0.45	35.0	87.7
St. 6	35-01.52	138-31.52	27.0	3.90	3.95	3.25	45.0	54.8
St. 7	35-01.84	138-31.79	25.0	3.90	4.05	0.75	49.0	48.3
St. 8	35-01.60	138-32.00	35.0	4.00	5.00	1.90	50.0	47.1
St. 9	35-01.59	138-32.13	40.0	4.00	5.10	2.10	46.0	51.2
St. 10	35-01.10	138-30.65	28.0	6.50	6.15	0.55	129.0	1.2
St. 11	35-00.97	138-30.66	27.0	6.50	6.15	0.55	123.0	1.2
St. 12	35-00.92	138-30.70	27.0	6.30	6.10	0.60	113.0	1.6
St. 13	35-00.95	138-30.77	27.0	6.40	5.95	0.75	113.0	4.5
St. 14	35-01.16	138-30.25	24.0	5.90	6.50	1.80	104.0	5.8

Table 3. Means of H_p/W for each anchor.

	Ssndy soil	Sandy clay soil	Clayey soil
JIS type	9.6	5.1	3.9
AC-14 type	12.9	10.7	8.1
DA-1 type	12.6	8.7	11.0

Fig. 5 に JIS 型錨の H_p/W 値と含砂率の関係を示す．図の回帰式は，

$$H_p/W = 0.0635 \cdot Sc + 3.2152 \quad (1)$$

となる．ここで，Sc は含砂率である．

Table 3 よりわかるように JIS 型錨は，泥質土より砂質土の方が，つまり含砂率が大きくなるほど H_p/W 値の平均値が大きくなる傾向にある．また，Fig. 5 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．同じ含砂率でも H_p/W 値にばらつきが生じる原因として考えられることは，底質の粒度組成に関係があると考えられる．例えば，同じ含砂率 92.6% でも淘汰度の低い St. 1 の H_p/W 値が St. 2 の H_p/W 値より大きい (Tables 1 and 2 参照)．すなわち同じ含砂率でも均一の粒径の底質が高い把駐力を与えることがわかる．また JIS 型錨は，AC-14 型錨や DA 型錨と異なり，泥質土の中でも St. 14 のように含砂率が大で，淘汰度の高い底質で H_p/W 値が大きい（Table 2 参照)．

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 9.6，砂泥質土 5.1，泥質土 3.9 という JIS 型錨の H_p/W 値が，大型船の錨の把駐力係数として使用できるかどうかは一概に言えないが，含砂率が増加するにつれて把駐力係数が大きくなる傾向は適用できると考える．

また陸上での水槽実験では JIS 型錨は曳引されると180度反転する現象が見られるが，今回は実海域の実験であったため JIS 型錨が海底で反転したどうかを確かめることはできなかった．

Fig. 6 に AC-14 型錨の H_p/W 値と含砂率の関係を示す．図の回帰式は，

$$H_p/W = 0.0531 \cdot Sc + 8.0199 \quad (2)$$

となる．

AC-14型錨は，Table 3 よりわかるように砂質土では H_p/W 値の平均値が 12.9 と高く，錨効きがよいことを示す．また Fig. 6 は H_p/W 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 AC-14型錨の H_p/W 値が大きくなることを示している．この傾向は JIS 型錨と同様であり，かつ同じ含砂率である St. 1 と St. 2 を比べても St. 1 の H_p/W 値が大きい．また，砂質土で AC-14 型錨の H_p/W 値が高い理由としては錨全体の形状が砂質土に掻き込み易い形状であることが考えられる．しかし，Table 3 からもわかるように AC-14 型錨と DA 型錨とも砂質土では，H_p/W 値の平均値がそれぞれ 12.9 と 12.6 とほぼ同じような値を示す．これは両錨とも錨の形状が砂質土に掻き込み易い形状をしているといえる．したがって，砂質土の海

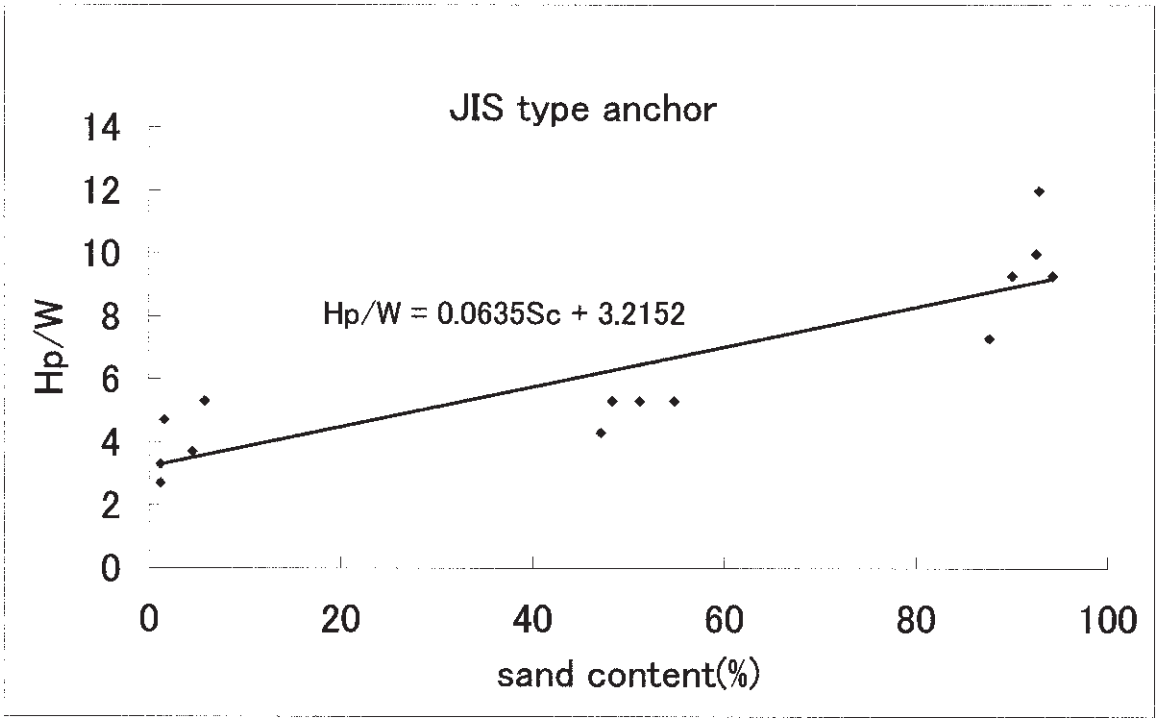

Fig. 5 The relationship between seabed and H_p/W of JIS-A (JIS) type anchor.

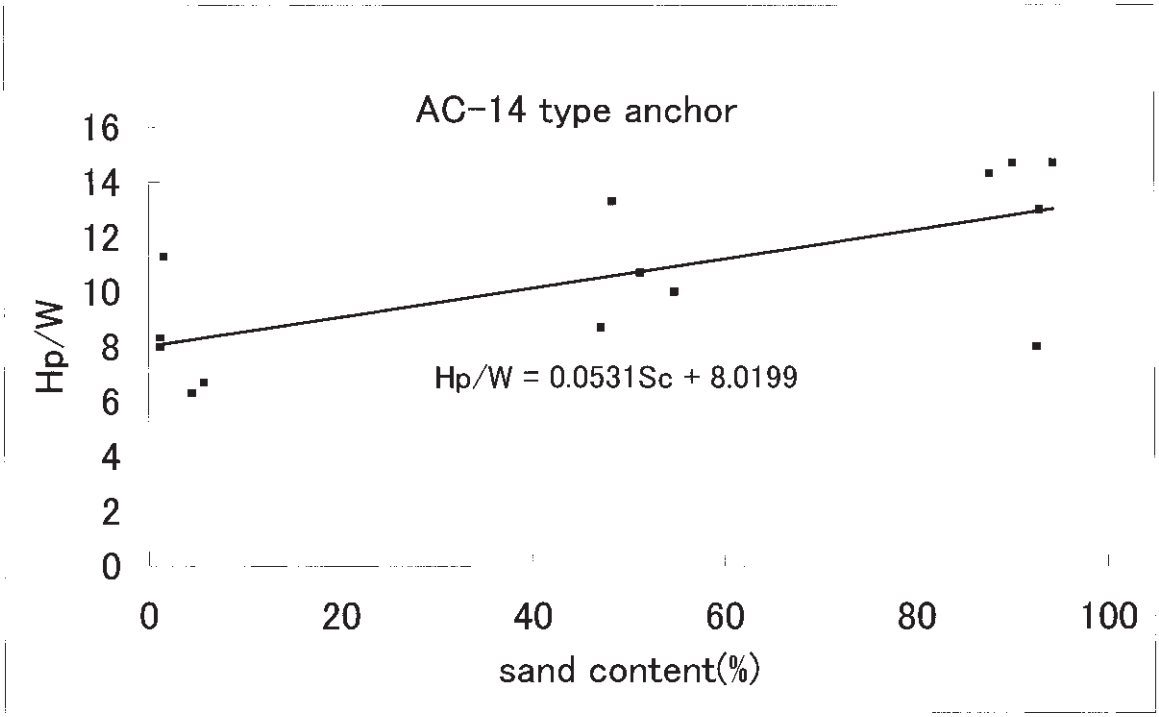

Fig. 6 The relationship between seabed and H_p/W of JIS-B (AC-14) type anchor.

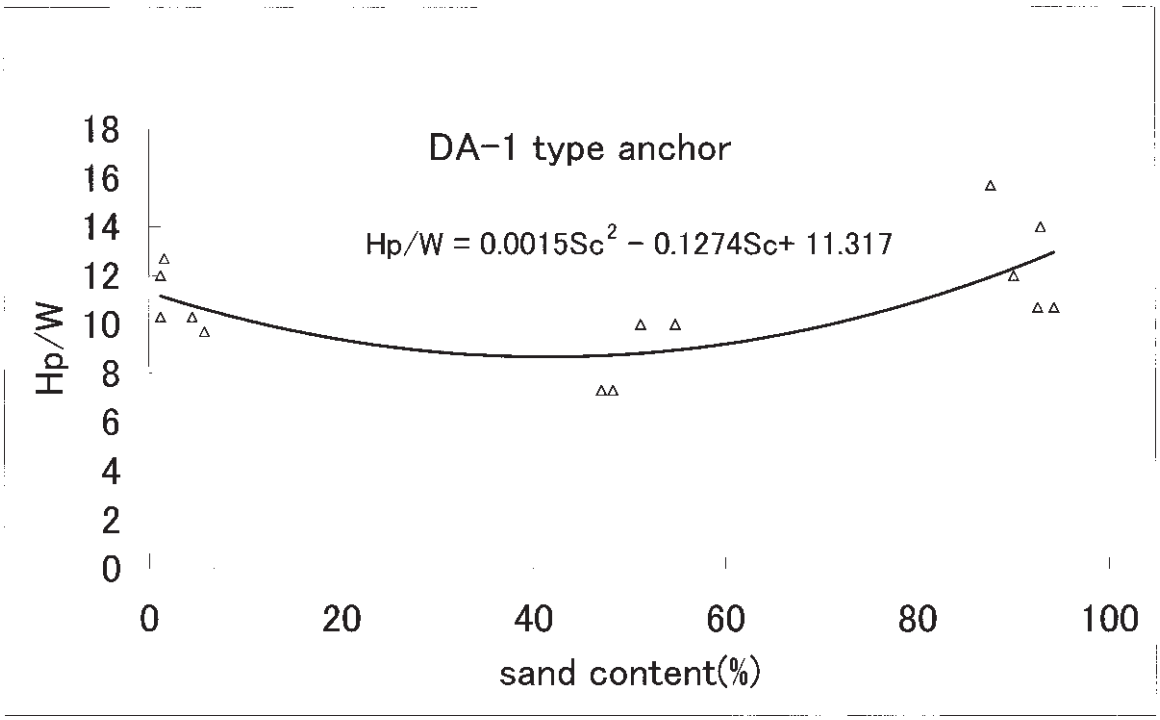

Fig. 7 The relationship between seabed and H_p/W of DA-1 (DA) type anchor.

底地盤に錨泊する場合は，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．

Fig. 7 に DA 型錨の H_p/W 値と含砂率の関係を示す．図の回帰式は，

$$H_p/W = 0.0015Sc^2 - 0.1274Sc + 11.317$$

となる．

DA 型錨は，Table 3 よりわかるように泥質土で H_p/W 値の平均値が 11.0 と各錨の中で最も大きい値を示す．これは DA 型錨のメーカーの「泥質土に効く錨である」との言葉を裏付ける結果となった．また砂質土でも 12.6 と高い値を示す．しかし砂泥質土では AC-14 型錨の H_p/W 値より低い値となる．しかしながら，砂泥質土の中でも淘汰度の高い，つまり様々な粒径の土が混ざっている St. 6 と St. 9 では他の2測点より大きい値を示す（Tables 1 and 2 参照）．砂質土および泥質土で DA 型錨が高い H_p/W 値を示す理由として，DA 型錨の錨全体の形状が砂質土に掻きこみ易く，かつ泥質土では抵抗となる錨爪の受圧面積が大きいからと考えられる．

次に各錨と底質との関係であるが，今回の実験で H_p/W 値の平均値の大きさの順番が，砂質土＞砂泥質土＞泥質土の順になる錨は JIS 型錨と AC-14 型錨である．しかし DA 型錨は砂質土＞泥質土＞砂泥質土の順番となり，他の 2 錨とは順番が異なる．しかしながら 3 錨の H_p/W 値を比較すると，DA 型錨は泥質土で最も高く，AC-14型錨は砂泥質土で最も高くなる（Table 3，Fig. 8 参照）．また JIS 型錨はすべての底質で他の錨に比べ H_p/W 値が低い．このように錨の形状によって錨効きのよい底質が異なることがわかる．しかし，筆者が過去に調査した JIS 型大型アンカー（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）．それに比べ今回の JIS 型錨の H_p/W 値は，Table 3 に示すように泥質土で 3.9，砂泥質土で 5.1，砂質土で 9.6 と JIS 型大型アンカーに比べ高い値を示す．しかもこれらの値は AC-14 型錨の泥質土の H_p/W 値 8.1 と砂泥質土の H_p/W 値 10.7 の約 1/2 となる．この結果は，筆者が1997年度の航海工学科海洋実習Ⅲで望星丸を使用して，今回の小型舟艇の実験と同じ方法で行った JIS 型大型アンカー（空中重量 300kg）と AC-14 型大型アンカー（空中重量 300kg）の把駐力を比較した清水港外での海上実験（含砂率が 63.9% と 70.7% の 2 測点）において，AC-14 型大型アンカーの最大把駐抵抗値は 2550kgf と 2850kgf で，H_p/W 値は 8.5 と 9.5 となり，JIS 型大型アンカーの最大把駐抵抗値は 1290kgf と 970kgf で，H_p/W 値は 4.3 と 3.2 となり，AC-14 型大型アンカーの H_p/W 値が JIS 型大型アンカーの H_p/W 値の約 2 ～ 3 倍であったことと同じ結果となる．また，航海訓練所の日本丸が AC-14 型大型アンカー（空中重量 3240kg）を使用した台風避泊（海底地盤：泥質土）で，AC-14 型大型アンカーの把駐力係数は JIS 型大型アンカーの把駐力係数の約 2 倍と推測されるとの報告もある（藤原ほか，1993）．したがってこの点については今回の実験結果が大型船用アンカーに適用できると考えられる．さらに，泥質土や砂泥

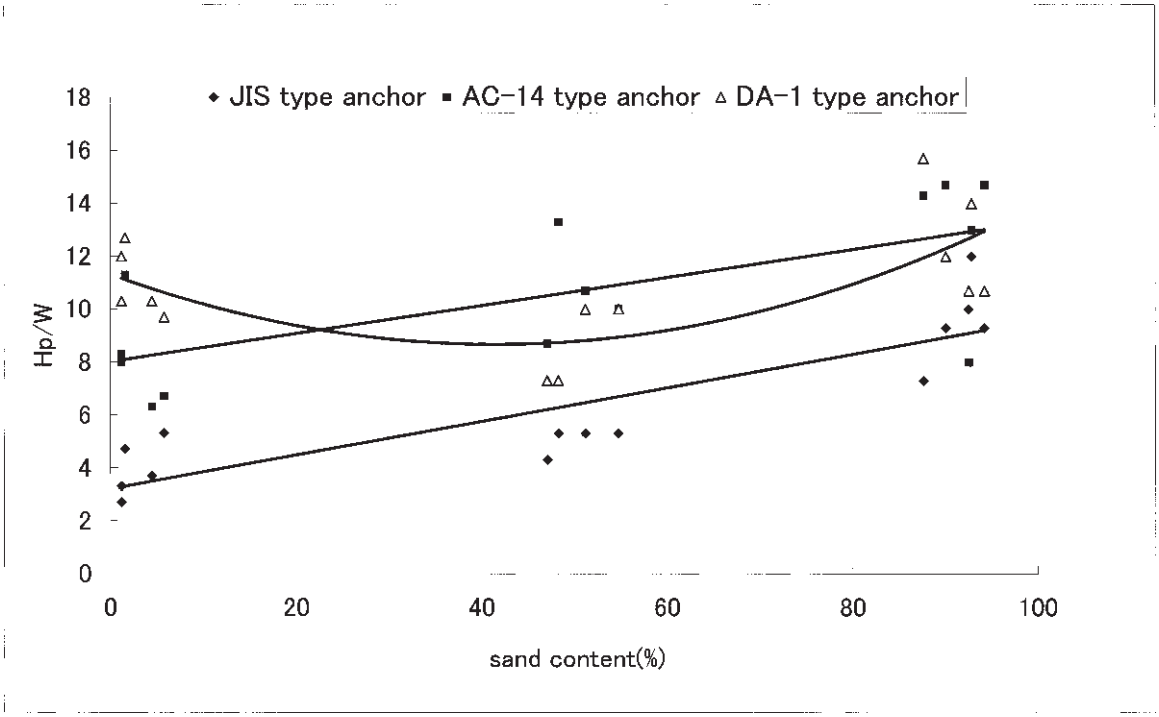

Fig. 8 The relationship between seabed and H_p/W of three type anchors.

質土ではAC-14型錨はJIS型錨の約2倍の把駐力を持つと考えてもよいであろう．しかしながら，JIS型大型アンカーの錨効きの順番は砂泥質土＞砂質土＞泥質土であり，今回の小型アンカーの実験結果と異なるものである．この理由として，大型アンカーと小型アンカーとでは重量，形状および強度が違うことなどがあげられる．したがってH_p/W値の大きさだけで比較し，各錨の錨効きの優劣を論ずることはできないと考える．また大型船用のAC-14型錨やDA型錨の実海域での実験結果が少ないことなどからも小型アンカーの結果をそのまま大型船用アンカーの把駐力に適用させることについて慎重に検討しなければならないと考える．

次にプレジャーボート用のアンカーのH_p/W値（佐藤，2003）と小型アンカーのH_p/W値を比べた場合，底質による錨効きは反対の結果となった．すなわちプレジャーボート用の殆どのアンカーは泥質土で錨効きがよい．しかしながらプレジャーボートの錨泊の場合，錨索には殆ど合成繊維のアンカー・ロープを使用することから海底とアンカー・ロープとのなす傾斜角度が問題となる．実際，海底とアンカー・ロープの傾斜角度によって錨効きに影響があるといわれている（日本小型船舶検査機構，1998）．また錨効きは，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）．この点は今後検討しなければならない課題でもある．

さらに，今回の小型アンカーの実験結果を検証するためにも大型船用のAC-14型錨やDA型錨の実海域での実験が必要であると考える．

また，今回の実験結果から従来の錨よりも高把駐力錨の開発を考える場合，砂質土や砂泥質土ではAC-14型錨をベースとした錨全体で土圧を受けることができるような形状の錨が必要であり，泥質土ではDA型錨をベースとした受圧面積の大きい，バランスのとれた錨の開発が望まれよう．

4．ま と め

今回，形状の異なる3種類の小型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．今回の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のようになる．

1） 砂質土での錨効きは，AC-14型錨＞DA型錨＞JIS型錨の順となったが，AC-14型錨とDA型錨の錨効きはほぼ同じである．

2） 泥質土での錨効きは，DA型錨＞AC-14型錨＞JIS型の順となり，泥質土ではDA型錨の錨効きがよい．すなわち泥質土で錨泊する場ではDA型錨がよいことになる．

3） 砂泥質土での錨効きは，AC-14型錨＞DA型錨＞JIS型錨の順となり，AC-14型錨の錨効きがDA型錨の錨効きより優る．

4） DA型錨は，砂泥質土でAC-14型錨より若干錨効きが劣ったものの，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す．

5） 泥質土と砂泥質土では，AC-14型錨はJIS型錨の約2倍の錨効きを有する．

謝　辞

本研究を行うにあたり，有益な助言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佐藤研究室の卒研生に深謝すると共に，海上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.

Krumbein, W. C.（1934）：Size frequency distribution of sediments. J of Sed. Petrol., **4**, 65-77.

藤原裕喜子・中村保博（1993）：荒天錨泊におけるAC14錨の使用結果について．日本航海学会誌，第118号，1-8．

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．

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（2003）：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．「海―自然と文化」東海大学紀要海洋学部，第1巻第1号，23-30．

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，船舶の安全錨泊に寄与できるように，大型船用アンカーの把駐性能をアンカーの把駐力と底質(含砂率と粒径)との関係から検討することを目的としている．実験では 3 種類の小型アンカー（JIS-A 型ストックレスアンカー，JIS-B 型ストックレスアンカー，DA-1 型ストックレスアンカー）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，空中重量 15kg の小型アンカーを小型舟艇（19トン）の船尾より曳引し，その曳索張力（把駐抵抗）をロードセルで測定し求めた．その結果，DA-1 型ストックレスアンカーは泥質土で最も高い把駐抵抗を示し，砂質土では JIS-B 型ストックレスアンカーとほぼ同じ把駐抵抗を示した．また，JIS-B 型ストックレスアンカーは砂質土で最も高い把駐抵抗を示した．しかしながら，JIS-A 型ストックレスアンカーは全ての底質で他の 2 錨に比べ低い把駐抵抗となった．このことから安全錨泊をするためには錨泊予定海域の底質と自船のアンカーの把駐性能を十分に知ることが重要であることがわかった．