

大型船用錨の把駐性能に関する一考察

佐藤治夫*1・河内 尚*2・野陳朋樹*2

A Study on the Holding Ability of Anchors for large Vessel

Haruo SATO, Takashi KAWACHI and Tomoki NOJIN

Abstract

The holding ability of three types of anchors was examined in relation to the resistance against the towing rope set at various angles. Experiments were performed using three type anchors (JIS type, AC-14 type and DA-1 type). These anchors were pulled using the Research Vessel, HOKUTO (19T). The tension force was measured using a loadcell connected to the towing rope. The experimental results indicated that the DA-1 type anchor showed the highest resistance and the most stable performance, and the JIS type anchor showed the lowest resistance.

Keywords: pulling angle, anchor, holding ability

1. はじめに

平成16年10月に富山県伏木富山港で航海訓練所の練習帆船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新しい。この乗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による海難事故は、毎年繰り返して起きている。その原因に守錨当直のミスや気象・海象の判断ミスなどの人為的ミスが主因と考えられるが、しかし自船錨の把駐性能や錨と海底地盤との相互関係に関する知識不足も一因と考えられる。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。したがって、安全な錨泊をするためには、底質（海底地盤の種類）と錨の把駐力との相互関係を知ることが重要である。一般に、錨の把駐力は、 $H = \lambda \cdot W$ （ 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。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錨地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。筆者は、既報（佐藤、2005）で大型船に使用されている錨の把駐性能について報告しているが、それらは錨を水平方向に曳引した場合の結果である。しかしながら錨鎖と海底地盤とのなす角度によって錨の把駐力がどのように変化するかを実海域で検討した研究は皆無である。本論文は、錨鎖と海底地盤とのなす角度（以後牽引角度という）による把駐抵抗を比較検討し、各錨が把駐力を発揮できる限界牽引角度を提案し、安全錨泊に寄与することを目的とする。

2009年3月30日受理

*1 東海大学海洋学部航海学科航海専攻 (Department of Navigation, Course of Navigation The School of Marine Science and Technology, Tokai University)

*2 東海大学海洋調査研修船望星丸 (Bosei Maru, Research and Training Ship, Tokai University)

今回、清水港外の底質が砂質土の海域で、大型船で実際に使用されている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種類である。

錨の曳引実験は、清水港外の砂質土の測点（緯度35°02'49N、経度138°31'70E）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とするため、H（最大把駐抵抗）をW（錨の空中重量）で除したH/W値（以後H/W値という）を求めた。すなわち、H/W値は錨の把駐力係数λに相当する値であり、それが大きい錨は錨効きが良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）。それによると今回の測点の底質は、砂質土（砂の含有量が67～100%）である。なお、測点の底質分析は行わなかったが、過去に行われている場所と同一場所であることから過去の資料を参考にした（佐藤，2005）。

2. 実験方法

実験は2006年8月21日に実施したものである。

錨の曳引は、曳索に8mmのベクトランロープを用い、船尾より曳索を繰り出し、海底に対して曳索が牽引角度を持つように曳索の長さを調節した。錨爪を海底に搔かせるため、曳索を予定の長さに伸ばした時点で伸長を止め、錨爪の搔き込みを感じた後、曳引を開始した。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）とした。また、牽引角度は、10°、11.5°、15°、20°、25°、30°、36.8°の7種類である。各牽引角度に対する各錨の曳引回数はそれぞれ1回ずつである。また、錨の曳引に使用した船舶は小型舟艇（G.T.19トン）で、錨曳引時の船速は、GPSで測定したが1ノット（約50cm/s）前後である。JIS型錨とDA型錨の空中重量は15kgで、AC-14型錨の空中重量は18kgである。各錨の形状および主要寸法は、Fig. 1、Fig. 2およびFig. 3に示す通りである（中村技研工業，2001）。

3. 結果と考察

測点の底質は、含砂率が94.3%、平均粒径値が3.10で、粒径が1/8～1/16mmの極細砂の底質で、含水比も33.0%と小さい。また、測点の水深は12mで、海底は平坦である。

Fig. 4にJIS型錨のH/W値と牽引角度の関係を示す。なお、錨爪とシャンクのなす角度（以後フリューク角という）は42°である。図の回帰式は、

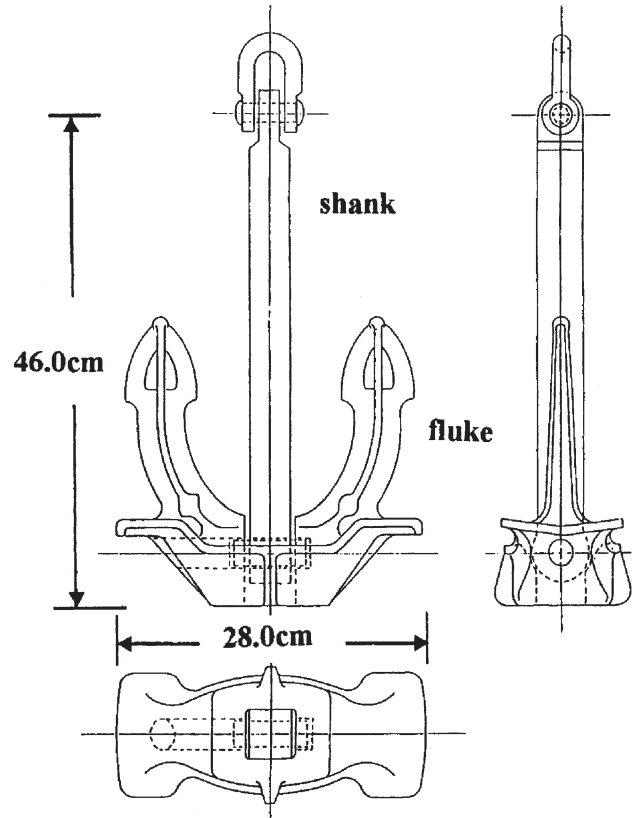


Fig. 1 JIS-A (JIS) type anchor.

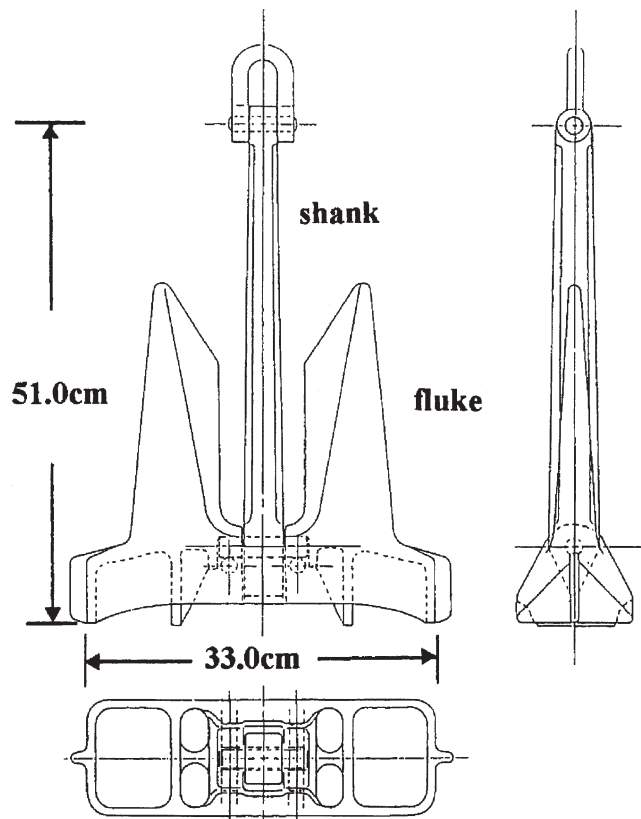


Fig. 2 JIS-B (AC-14) type anchor.

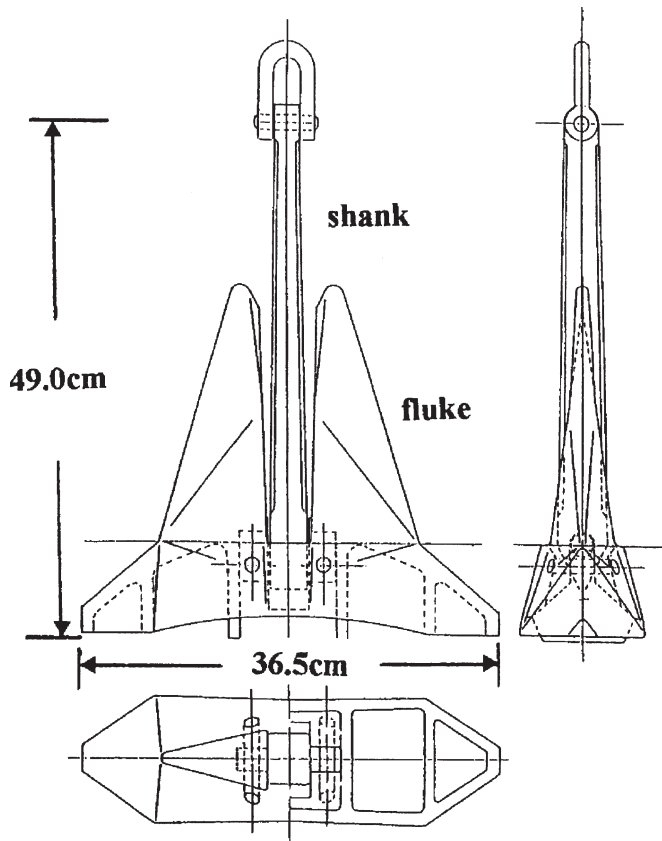


Fig. 3 DA-1(DA) type anchor.

$$H/W = 14.791e^{-0.083\theta} \quad (1)$$

となる。ここで、 θ は牽引角度である。

Fig. 4 よりわかるように JIS 型錨は、牽引角度が大きくなるにつれ H/W 値が小さくなる傾向にある。また、Fig. 4 は各牽引角度に対する H/W 値が指数関数的に減少することを示している。しかし今回実施された牽引角度 10° の H/W 値 8.0 と牽引角度 11.5° の H/W 値 4.7 を比べると牽引角度 11.5° の H/W 値は牽引角度 10° の H/W 値の約半分となり、牽引角度が 1.5° 増加しただけで H/W 値が約半分に減少することがわかった。さらに牽引角度 11.5° 以降は牽引角度が大きくなると H/W 値は直線的に減少することも示した。

錨効きを論ずる場合、H/W 値が大きいほど錨効きが良いということになるが、今回の実験で得られた JIS 型錨の H/W 値は、牽引角度が大きくなるにつれて小さくなった。この結果は、「アンカー・ロープの傾斜角度（牽引角度）によってアンカーの効きに影響がある」（日本小型船舶検査機構、1998）あるいは「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」（日本小型船舶検査機構、1998）などを裏付けたことになる。

また、陸上での水槽実験では JIS 型錨は曳引されると 180° 反転する現象がみられるが、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認することはできなかった。

今回の結果をもとに、H/W 値が 6 以上を錨効きの限界

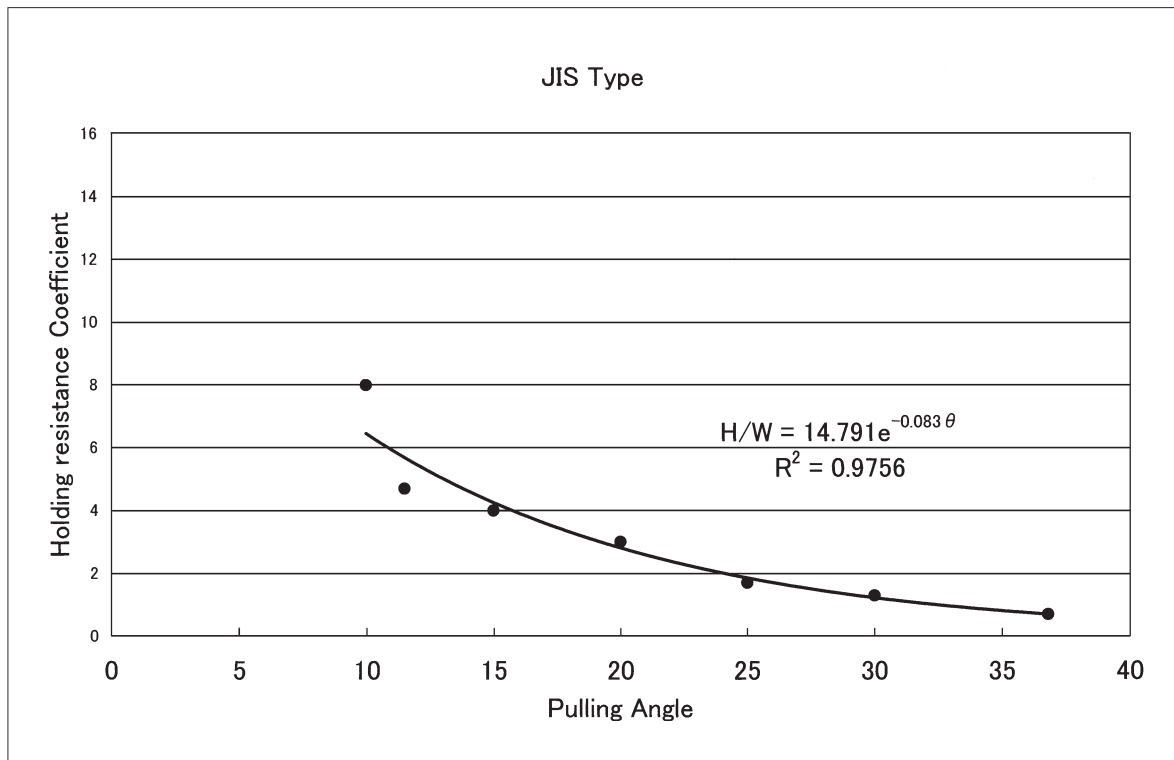


Fig. 4 The relationship between pulling angle and H/W of JIS-A (JIS) type anchor.

安全境界線と仮定すると、JIS 型錨は、牽引角度 10° までなら安全錨泊が可能な錨効きが得られると考える。

Fig. 5 に AC-14 型錨の H/W 値と牽引角度の関係を示す。なお、フリック角は 35° である。図の回帰式は、

$$H/W = 31.358e^{-0.1088\theta} \quad (2)$$

となる。

Fig. 5 より、AC-14 型錨は牽引角度 10° の H/W 値が 10.6 と高く、錨効きがよいことを示した。しかし、牽引角度が大きくなるほど AC-14 型錨の H/W 値は、JIS 型錨と同様に指数関数的に減少する傾向を示した。また、牽引角度 11.5° の H/W 値は 7.3 で、牽引角度 15° の H/W 値が 7.8 となった。若干ではあるが牽引角度 15° の H/W 値が高い値を示した。牽引角度 20° の H/W 値は 3.9 で、牽引角度 15° の半分となり、JIS 型錨の牽引角度 15° の H/W 値とほぼ同じ値になった。また牽引角度 25° 以降は、JIS 型錨の H/W 値とほとんど変わらなかった。このことから AC-14 型錨は牽引角度 15° までは安全錨泊が可能と考える。また、砂質土で AC-14 型錨の H/W 値が高い理由として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、AC-14 型錨は牽引角度が 20° 以上になると錨効きは極端に悪くなることがわかった。

Fig. 6 に DA 型錨の H/W 値と牽引角度の関係を示す。なお、フリック角は 33° である。図の回帰式は、

$$H/W = -0.3896\theta + 15.368$$

となる。

Fig. 6 からわかるように DA 型錨は、牽引角度 10° で H/W 値が 13.7 と供試錨の中で最も大きい値を示した。これは DA 型錨のメーカーの「砂質土に効く錨である」との言葉を裏付ける結果となった。さらに牽引角度による H/W 値の減少傾向も他の 2 錨と違って直線的に減少することがわかった。またすべての牽引角度で DA 型の H/W 値は他の 2 錨より大きかった。このように DA 型錨は把駐力および安定性において他の 2 錨よりよいことを示した。

また、DA 型錨が高い H/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、抵抗となる錨爪の受圧面積が大きいからと考えられる。したがって、DA 型錨は牽引角度 20° までは安全錨泊が可能と考える。また AC-14 型錨と DA 型錨の両錨が牽引角度 10° で高い H/W 値を示したこと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からといえる。したがって、砂質土の海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よいと考える。

次に、Fig. 7 に 3 種類（JIS 型錨、AC-14 型錨、DA 型錨）の錨の H/W 値と牽引角度の関係をまとめたもの示す。

3 錨の H/W 値と牽引角度の関係を比較すると、DA 型錨、AC-14 型錨および JIS 型錨は牽引角度が大きくなるにつれ多少ばらつきはあるものの、DA 型錨は直線的に、他の 2 錨は指数関数的に H/W 値が減少することがわかった。また、Fig. 7 中の 3 錨の中では DA 型錨の H/W 値は

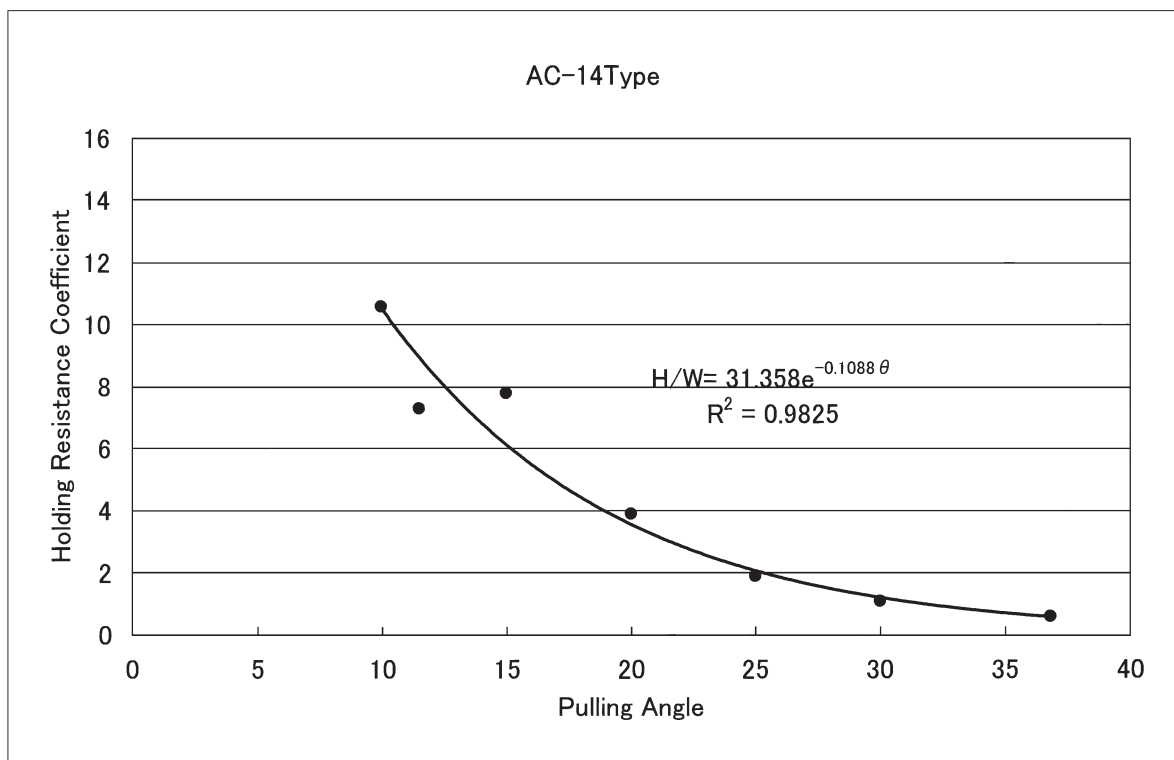


Fig. 5 The relationship between pulling angle and H/W of JIS-B(AC-14) type anchor.

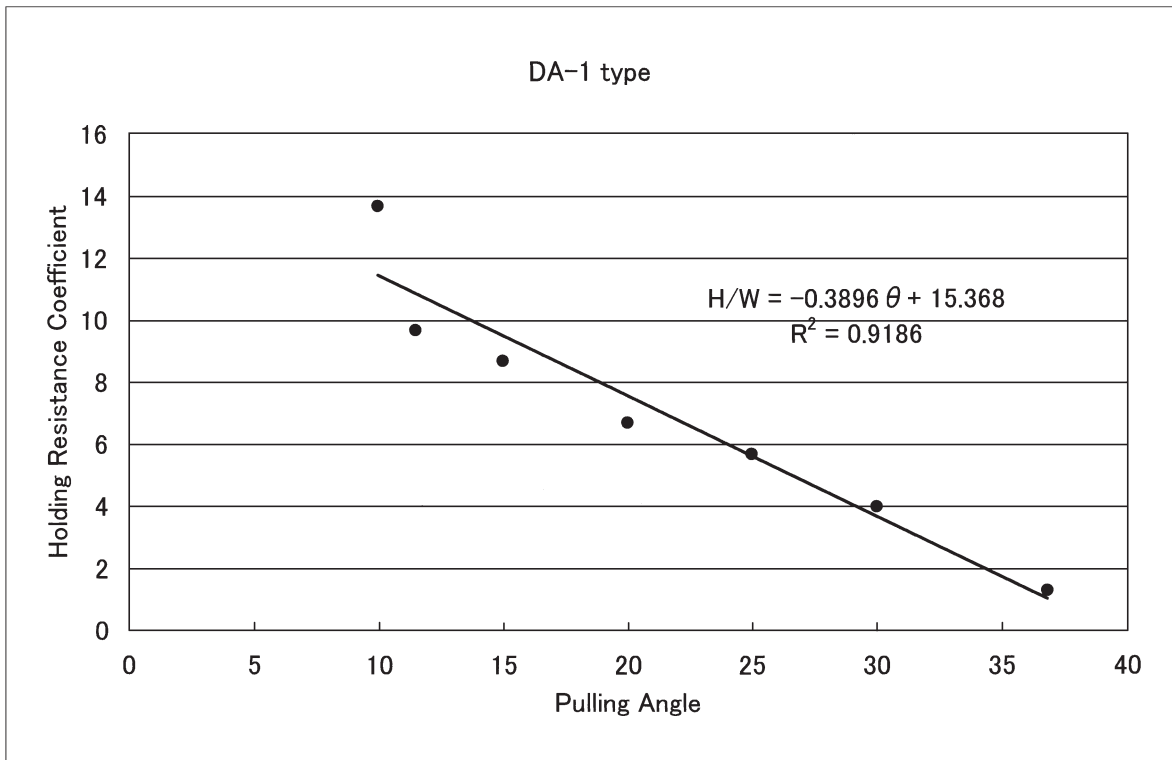


Fig. 6 The relationship between pulling angle and H/W of DA-1(DA) type anchor.

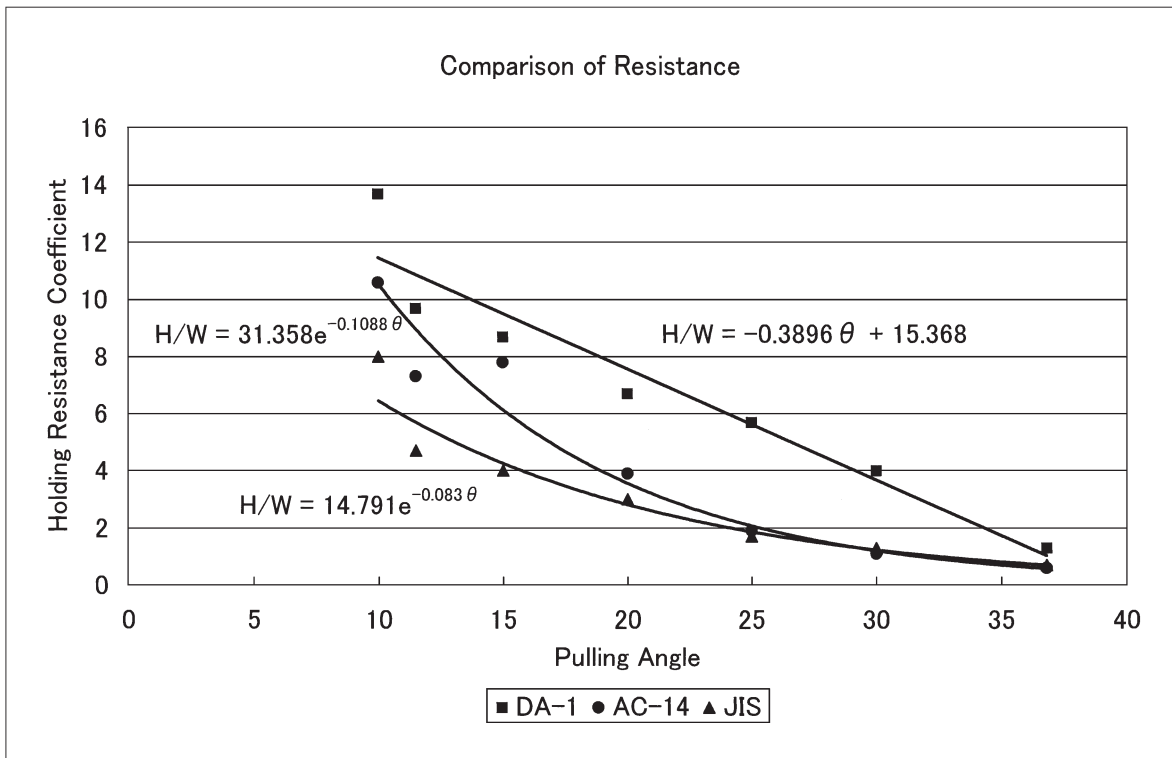


Fig. 7 The relationship between pulling angle and H/W of three type anchors.

直線的に減少し、かつ他の2錨のH/W値より高い値を示したことから一番安定している錨と考えられる。AC-14型錨は牽引角度15°まではH/W値が6以上を示すが、牽引角度20°以上では極端にH/W値が小さくなることわかった。

今回の実験から牽引角度がある場合でも錨効きのよい錨は、DA型錨、AC-14型錨、JIS型錨の順となることがわかった。

また、H/W値に注目して、錨のH/W値を比較すると、3錨とも牽引角度10°で最も大きく、AC-14型錨は牽引角度11.5°と15°では若干ではあるが牽引角度15°のH/W値が高くなった(Fig.7参照)。また、JIS型錨はすべての牽引角度で他の錨に比べH/W値が小さかった。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/W値は、砂質土で3~5と小さい(鈴木ほか、1986;佐藤、1989;佐藤、1991;佐藤、1992)。それに比べ今回の実験のJIS型錨は、牽引角度10°でH/W値8.0であり、過去の海上実験でのJIS型大型アンカーのH/W値に比べ高い値を示す。また、AC-14型錨のH/W値は牽引角度10°でH/W値10.6(含砂率94.3%、含水比33.0%)となった。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実験方法で行ったAC-14型大型アンカー(空中重量300kg)の清水港外での海上実験(2測点)において得られたH/W値は8.5(含砂率63.9%、含水比43.1%)と9.5(含砂率70.7%、含水比42.1%)であった。また、瀬戸内海の山口港沖の実験(3測点)でのH/W値は、7.1(含砂率78.2%、含水比58.7%)、7.0(含砂率68.3%、含水比78.1%)と4.8(含砂率89.5%、含水比41.2%)であった。このように含砂率や含水比に違いはあるものの砂質土(含砂率67.0~100%)におけるH/W値として考えた場合、AC-14型大型アンカーのH/W値は今回の実験のAC-14型小型アンカーのH/W値10.6よりも小さい値を示した。したがって、今回の小型アンカーの実験結果は大型アンカーの海上実験結果と異なるものになった。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、底質を考えずにH/W値の大きさだけを比較し、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、AC-14型錨やDA型錨の大型アンカーで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。

また、プレジャーボートが錨泊する場合、錨索にはほとんど合成繊維のロープを使用することから海底とアンカー・ロープとのなす角度(牽引角度)が問題となっている(佐藤、2003;佐藤、2008)。これについても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AC-14型錨やDA型錨の大型アンカーでの実海域での実験が必要である。

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底質砂の海域で測定する機会が得られ、各錨の牽引角度別の把駐力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、各錨の錨効きを牽引角度の点からまとめると下記ようになる。

1) JIS型錨は、指数関数的に減少し、安全錨泊を可能にするであろうH/W値を6と仮定した場合、牽引角度10°までは使用できると考える。

2) AC-14型錨は、指数関数的に減少し、牽引角度15°までなら安全錨泊を可能にする。また、牽引角度20°以降は錨効きが極端に悪くなる傾向がある。

3) DA型錨は、牽引角度10°のH/W値を除き、直線的に減少するが、安全錨泊を可能にするであろうH/W値を6と仮定した場合、牽引角度20°までは安全錨泊ができると考える。

謝 辞

本研究を行うにあたり、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建設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研究室の卒研究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上げます。

参考文献

- 本田啓之輔(1986):操船通論。成山堂書店、東京、269pp.
- 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.
- 佐藤治夫(2005):錨の把駐性能に関する一考察。「海-自然と文化」東海大学紀要海洋学部、第3巻第3号、31-39.
- 佐藤治夫(2008):プレジャーボート用錨の把駐性能に関する

る一考察. 沿岸域学会誌, 第21巻第2号, 15-20.
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.

和文要旨

本研究は、大型船の安全錨泊に寄与できるよう、錨鎖と海底面とのなす角（牽引角度）に焦点を当て、牽引角度の大小による大型船用錨の把駐抵抗（把駐力）の相違を比較検討したものである。実験には3種類の錨（JIS型錨、AC-14型錨、DA型錨）を用いた。把駐抵抗は、錨を小型舟艇の船尾より曳引し、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型錨が一番高く、安定した把駐抵抗を示し、AC-14型錨は牽引角度15°まではDA型錨とほぼ同じ錨効きを示した。また、JIS型錨は他の2錨に比べ小さい把駐抵抗となった。この研究が、船舶の走錨による海難事故の減少に少しでも役に立てばと考えている。

キーワード：牽引角度，アンカー，把駐性能