錨地の評価に関する一考察

花房 元顕*・佐藤 治夫*・鈴木 常夫*

A Study for Assessment of Anchorage

Motoaki HANABUSA, Haruo SATO and Tsuneo SUZUKI

Abstract

Many years before, we started to examine the "Seabed quality" in many bays of Japan and to experiment about Weighing and Holding power of anchor in the same places.

In this paper, the assessment of anchorage is shown on the basis of the above mentioned Seabed examinations and experiments on the holding power of anchor and anchor chain.

A formula is mentioned below :

$$Es = Ka + Kc$$

where, Es is the Assessment number ;

Ka is the Co-efficient of holding power of anchor ;

Kc is the Co-efficient of holding power of cable.

If the weight of anchor is known, we can assess the holding power of anchor simply by multiplying the anchor weight with the assessment number and at the same time, it is possible to know the holding power of two cables of anchor chain.

By using the assessment numbers, we have made assessment maps of experimented bays. These assessment maps will help us to know about the proper anchoring places. Relative assessments also can be made with the help of these maps.

These assessment maps show that the assessment numbers are higher at the entrance of each bay and gradually becomes smaller at the inside portion of the bay. So, from seabed quality and nature, it becomes clear that the places near the entrance of bay are good for anchoring than the distant inside areas.

The experiment shows that the assessment numbers are almost same as muddy soil in four bays (Tokyo Bay, Ise Bay, Mikawa Bay and Osaka Bay).

1. はじめに

錨地、とりわけ避泊錨地を湾内の何処に選定するかという問題は船舶運航者にとって重大な決断を要する事項のひとつであろう。通常、錨地を選定する際には船型、コンディション、保有している錨鎖長あるいは風、波浪などの気象条件また、自然条件として、底質、水深といった基本的要素を考慮に入れた決定がなされるであろうがこれらの基本的要素にもとづいて錨地の評価が行われ、情報として提供されることはより合理的な錨地選定のための一助となるであろう。過去に行われた錨泊地に関するアンケート調査⁽¹⁾などからも錨地に対するアドバイスを希望するという意見は多くみられ、このことから錨地に対する評価を行うことは重要な課題のひとつであるといえる。

錨地選定の基本的要素の内、風、波浪などの要素は状況によって様々に変化する不確定要素であり、これらをふまえた評価を行う場合、船体の触れ回り周期やこれによって生ずる衝撃力の大きさなどを考慮に入れなければ

* 正会員 東海大学海洋学部 (〒424 清水市折戸3-20-1)

ならないが、船型やコンディションによって影響は様々で、このような動的な力を考慮した統一的な評価を行うことは非常に困難である。一方、水深および底質については当該錨地に対する不変の要素といえることができ、錨地の評価を事前にしておくとするならば、これらの確定的な要素を考慮にいった評価が錨地の選定においては利便を与えるものと思われる。

そこでここでは、底質と自船の錨および錨鎖によって導かれる静的な釣り合い条件のもとでの把駐力のみに着目し、鈴木を中心として著者等が長年に渡って行ってきた日本各港湾における海底地質の調査ならびに同地における錨の曳引実験の結果を用いて、一定の基準のもとでの錨地の評価を、東京湾、伊勢湾、大阪湾および三河湾の4湾について試みた。

図1から図3に今回の評価の対象となる各湾のステーションを示している。これは同時に海底土の試料をサン

図1 東京湾の評価対象ステーション

図2 伊勢・三河湾の評価対象ステーション

図3 大阪湾の評価対象ステーション

プリングしたポイントでもあり、それぞれ、東京湾14ポイント、伊勢湾38ポイント、三河湾16ポイント、大阪湾8ポイントである。

2. 底質と錨地の評価基準

2.1 底質分析と錨の曳引実験の結果について

錨および錨鎖によって得られる把駐力はその重量や形状ごとに錨地の底質との関係により決定される。底質については対象となる錨地においてサンプリングした海底土についてあらゆる角度から分析を行うが⁽²⁾⁽³⁾、ここでは採取した試料の含泥率 M_c 即ち、乾燥 (110°C) した粒度 0.063mm 以下の土の重量を M 、乾燥 (110°C) した全試料の重量を S とした場合の両者の比の百分率 ($M_c = (M/S) \times 100$) と当該錨地における錨の曳引実験によって得られる H/W 値 (H : 最大曳索張力 W : 錨の重量) との間に高い相関があることから⁽⁴⁾、底質については含泥率、錨の把駐力については H/W 値をもって表現する。ここにいう H/W 値は錨試験基準の錨の把駐係数に該当するものであり、錨地の含泥率を変数として H/W 値を算定する。なお含泥率に

表1 ステーション平均含泥率（東京湾）

St.No.	Position	平均含泥率(%)	St.No.	Position	平均含泥率(%)
1	35.21.00 139.47.38	7.10	8	35.34.97 139.54.03	97.50
2	35.23.00 139.47.50	53.00	9	35.34.50 139.49.97	96.40
3	35.26.45 139.49.96	93.80	10	35.28.09 139.48.04	96.90
4	35.28.04 139.54.44	90.50	11	35.25.77 139.44.60	86.00
5	35.29.98 139.53.50	94.50	12	35.25.19 139.42.29	94.80
6	35.32.48 140.00.51	97.00	13	35.23.52 139.44.41	9.90
7	35.33.17 139.53.87	97.10	14	35.21.20 139.40.40	61.60

図4 含泥率と錨把駐係数（東京湾）

図5 含泥率と錨把駐係数（伊勢・三河湾）

については、本来ならば採取した各層ごとの含泥率と錨の埋没深度の関係から、当該錨地の代表値を用いて表すのが妥当であるが、土質の違いによる錨の埋没深度の変化については未だ確定的な見地を得るに至っておらず、ここでは表層、中層、底層の試料の平均値をもって該当する錨地の含泥率とした。表1から表4に各湾におけるステーションの番号ごとにポジションおよび平均含泥率を示した。また、図4から図6に平均含泥率と H/W 値の関係を湾ごとに示し、2次元回帰を行った結果を表示した。これらの図から含泥率の低い所謂砂質土の錨効きは良く、含泥率の高い泥質土の錨効きは悪いといえることができる。各湾ともに平均含泥率の値が80%を越える泥質土で形成されているステーションがほとんどで、従来から比較的錨地に適していると言われている一定の含泥率を示す砂泥質土の存在する地点はかなり少ないであろうことがこのことからもうかがえる。

東京湾、伊勢湾、大阪湾のように比較的大きな内湾は大型船の避泊地として良く利用されるが、このように底質の大部分は泥質土であり、泥質土を避けての錨泊が不可能なだけに、果たしてその底質が係留力にどれだけ寄与できるのかを把握しておくことは重要であろう。

一方、錨鎖については錨鎖の摩擦係数と海底表層土の粒度との関係を調査するために行った実験値⁽⁵⁾⁽⁶⁾を使用し、表層土の含泥率と錨鎖の摩擦抵抗係数 (H_c/W_c) の関係から錨の場合と同様、錨地の含泥率によって錨鎖の摩擦抵抗すなわち、錨鎖の把駐係数を算定する。図7に上記実験によって得られた錨鎖の摩擦抵抗係数と表層土含泥率の関係及び2次元回帰を行った結果を表示した。錨鎖の摩擦抵抗係数は概ね1.0以下であり、含泥率の低い砂質土での抵抗は大きく、含泥率の高い泥質土になるにつれて減少する傾向がみとれる。また、含泥率が40%~50%と比較的高い場合や80%以上の含泥率を有する泥質土において錨鎖の摩擦抵抗係数が高い値を示しているのは錨鎖の重量のために泥中に埋没し粘着力の大きい泥の中を移動したためであると思われる。今回は海底土中の粘土の含有量については考慮していないが、泥質中の粘土の含有量の多少が錨効きや錨鎖が泥中に埋没した際の摩擦抵抗係数を更に変化させることについて

表2 ステーションと平均含泥率(伊勢湾)

St.No.	Position	平均含泥率(%)	St.No.	Position	平均含泥率(%)	St.No.	Position	平均含泥率(%)
1	34.44.8N 136.35.0E	94.60	14	34.47.2N 136.43.0E	99.37	27	34.37.4N 136.38.7E	36.00
2	34.47.0N 136.37.1E	90.10	15	34.45.1N 136.43.0E	99.23	28	34.37.5N 136.43.3E	43.70
3	34.49.1N 136.39.1E	95.30	16	34.44.9N 136.46.9E	96.27	29	34.37.4N 136.43.3E	4.00
4	34.49.0N 136.39.0E	7.10	17	34.48.0N 136.49.0E	83.77	30	34.35.5N 136.44.7E	4.90
5	34.51.0N 136.40.7E	89.33	18	34.48.9N 136.46.0E	94.93	31	34.35.2N 136.47.2E	5.90
6	34.50.9N 136.40.7E	98.60	19	34.53.0N 136.46.0E	96.87	32	34.38.5N 136.48.0E	17.20
7	34.53.0N 136.40.8E	16.60	20	34.57.0N 136.46.1E	88.50	33	34.41.0N 136.48.1E	70.50
8	34.55.0N 136.40.9E	99.50	21	34.56.4N 136.46.1E	97.57	34	34.34.5N 136.49.8E	15.95
9	34.57.9N 136.42.0E	99.80	22	34.42.5N 136.45.0E	94.40	35	34.35.1N 136.52.9E	13.40
10	34.55.2N 136.43.1E	99.27	23	34.41.7N 136.40.1E	97.50	36	34.37.0N 136.52.8E	18.40
11	34.53.0N 136.42.8E	99.73	24	34.42.4N 136.36.0E	98.97	37	34.39.5N 136.52.6E	17.20
12	34.51.0N 136.43.1E	99.17	25	34.39.0N 136.37.0E	94.73	38	34.43.0N 136.52.2E	95.90
13	34.48.7N 136.43.4E	95.70	26	34.37.4N 136.38.7E	38.00			

表3 ステーションと平均含泥率
(三河湾)

St.No.	Position	平均含泥率(%)	St.No.	Position	平均含泥率(%)
1	34.42.5N 137.12.0E	93.33	9	34.42.0N 137.07.2E	79.23
2	34.43.3N 137.11.7E	92.00	10	34.44.0N 137.08.5E	93.43
3	34.42.7N 137.09.9E	91.57	11	34.43.9N 137.05.4E	85.73
4	34.42.0N 137.09.0E	93.97	12	34.42.6N 137.06.5E	72.00
5	34.42.0N 137.09.0E	98.40	13	34.42.0N 137.05.1E	65.00
6	34.41.3N 137.10.1E	88.50	14	34.41.6N 137.06.1E	63.83
7	34.40.0N 137.09.8E	87.30	15	34.40.5N 137.05.2E	4.80
8	34.40.9N 137.07.6E	56.40	16	34.41.6N 137.02.6E	19.40

表4 ステーションと平均含泥率
(大阪湾)

St.No.	Position	平均含泥率(%)
1	34.35.02 135.11.95	89.40
2	34.35.08 135.19.96	97.60
3	34.24.69 135.09.96	95.10
4	34.23.89 135.05.63	93.20
5	34.21.05 135.10.98	86.10
6	34.36.99 135.14.96	98.10
7	34.31.88 135.16.07	99.30
8	34.28.53 135.11.71	81.40

ても認識しておく必要がある。

2.2 錨地の評価基準について

以上のように調査, 実験によって得られた錨の把駐係数(H/W 値)と含泥率の関係, 錨鎖の摩擦抵抗係数と含泥率の関係を基に錨地の評価を行うこととなるが, 避泊錨地の評価基準は走錨を念頭において設定され, 走錨

図6 含泥率と錨把駐係数 (大阪湾)

図7 含泥率と錨鎖摩擦抵抗係数

図8 錨の重量と錨鎖径の関係

直前の限界把駐力をもって検討を行うのが妥当である。そこでここでは錨と、ある一定の長さの錨鎖によって得られる把駐力を当該錨地において得られる限界把駐力として定義し評価の基準を設定する。船が風、潮などの外乱を受けたときに加わる水平外力が錨と錨鎖がつくりだす係駐力に等しいとした場合、これは錨の把駐能力が100%確保されている場合の走錨寸前の限界係駐状態となるが、ここではこの係駐力が上述の限界把駐力に等しいものとする。このような考え方のもとで評価値を決定する場合、錨と錨鎖双方の間に何らかの相関を見いだしておく必要がある。図8は錨の重量 W と錨鎖径 d の自乗値の関係を表したものであり⁽⁷⁾⁽⁸⁾両者は比較的高い相関があるといえる。同図より両者の関係は

$$W = 1.29 \cdot d^2 + 7.44 \quad \cdots (1)$$

と表され、一方、錨鎖の単位重量 Wc と錨鎖径 d との関係は⁽⁷⁾,

$$Wc = 0.0219 \cdot d^2 \quad \cdots (2)$$

で与えられる。(2)式より錨鎖2節の重量 Wc_2 は

$$\begin{aligned} Wc_2 &= 27.5 \times 2 \times Wc \\ &= 1.2045 \cdot d^2 \quad \cdots (3) \end{aligned}$$

と表現できる。

いま、式(1)より、 $W = 1.29 \cdot d^2$ とすると、 $d^2 = 0.775 \cdot W$ となり、これを(3)式に代入して、

$$Wc_2 = 0.93 \cdot W \quad \cdots (4)$$

という関係を得る。即ち、錨鎖2節の重量は、ほぼ錨の重量に匹敵することになる。いま、錨と錨鎖によって得られる把駐力 Hp を錨の把駐係数 H/W 、錨鎖の把駐係数 Hc/Wc 、錨鎖の係駐部 ℓ を用いて表現すると

$$Hp = (H/W) \cdot W + (Hc/Wc) \cdot \ell \cdot Wc$$

となる。1を2節とすると、 $\ell \cdot Wc = Wc_2$ となり式(4)より Hp は

$$Hp = (H/W) \cdot W + (Hc/Wc) \cdot W$$

と表せ、錨鎖2節の重量を基準として錨鎖によって得られる把駐力を錨の重量で表現することができる。錨及び錨鎖によって得られる各々の

図9 水深と必要錨鎖伸出量

図10 東京湾の評価値

把駐力を錨の自重で除した値、即ち、錨の把駐係数 (H/W) 及び錨鎖2節の重量で基準化したときの把駐係数 (Hc/Wc) をそれぞれ、 Ka , Kc として評価値 $Es(Hp/W)$ を次のように定義する。

$$Es = H/W + Hc/Wc \\ = Ka + Kc$$

Ka , Kc ともに各湾における含泥率を変数として与えられる係数であり、これらはそれぞれ当該錨地の底質が、錨及び錨鎖によって得られる係駐力に寄与する度合いを示すものである。

こうして求められた評価値は同時に限界把駐係数の意味を持ち、この値に錨の自重を乗ずれば当該錨地における錨と錨鎖2節分の把駐力を算出することができる。実際に Ka , Kc を計算する場合、 Ka については表1から表4に示した各湾の平均含泥率の値 Mc を、図4から図6に示した回帰式に代入することにより、また Kc については表1から表4に示した各湾の平均含泥率の値 Mc を図7に示した回帰式に代入して求め、これらを合計した値を評価値 Es とする。

1例として東京湾 St. No. 1 の評価値を求めてみると、このステーションの平均含泥率 Mc は表1より7.10%である。この値を図4の回帰式に代入し H/W 、即ち $Ka = 4.9861$ を得る。同様に Kc についても図7の回帰式に7.10を代入し Hc/Wc 、即ち $Kc = 0.7116$ を得る。それぞれの値を合計すれば当該ステーションの評価値は $Es = 5.6977$ となり小数点以下第二位を四捨五入して図10中の表示値 5.7 を得る。

また、評価値 Es に対する Ka と Kc の寄与割合は上記の東京湾 St. No. 1 を例にとれば Ka は88%、 Kc は12%となる。ステーション毎にその値は異なるが他湾においても Ka は80~90%で Kc は10~20%の割合でそれぞれ評価値 Es に寄与している。

3. 錨地の評価結果

3.1 評価マップの作成

前述のようにして求めた錨地ごとの評価値及び当該錨地の水深を合わせて海図上に表示すれば、船舶運航者が錨地を選定する際のひとつの目安となるであろう。図10から図13は今回評価の対象として試料を採取したステーションごとの評価値を上段、水深を下段に表示することにより作成した評価マップである。上段の評価値に錨の自重を乗ずることにより、当該錨地における錨と錨鎖2節分の把駐力を得ることができる。また、各錨地とも水深が異なるため、錨鎖2節分を含めた把駐力を得るために必要な錨鎖の伸出量を静的な釣り合い条件より求め、評価値と水深とをパラメータとして表示することにより考慮した。

いま、係駐部の錨鎖長を ℓ 、カタナリー長さを S とすると、必要錨鎖伸出量 Lc は、 $Lc=\ell+S$ と表せる。この内、 ℓ は評価値を設定する際に考えた錨鎖2節に相当し、また水深（ベルマウスからの深さ）を Y 、錨鎖の水中重量を Wc' とし錨鎖張力の水平分力を Tx とすると⁽⁹⁾、

$$Lc=55+\sqrt{Y^2+2\cdot Tx\cdot Y/Wc'} \quad \dots\dots(5)$$

と表せる。ここで、錨鎖張力の水平分力は評価値によって得られる係駐力に等しいものと考え、錨と錨鎖2節によって係駐部が形成される限界状態の Lc を求めると、

$$Lc=55+\sqrt{Y^2+2\cdot Y\cdot \frac{Es\cdot W}{Wc'}} \quad \dots\dots(6)$$

となる。一方、 Wc' は式(2)に0.87を乗じて、 $Wc'=0.019\cdot d^2$ 、錨の重量 W は式(1)より $W=1.29\cdot d^2$ とすると式(6)は

$$Lc=55+\sqrt{Y^2+135.79\cdot Es\cdot Y} \quad \dots\dots(7)$$

となり、必要錨鎖伸出量 Lc は水深と評価値の関数として表現することができる。図9は、式(7)をもとに評価値と水深をパラメトリックとして表示したものである。この図をもとにして、各錨地ごとの評価値と水深から評価値に錨の自重を乗じて得られる把駐力を得るために必要な錨鎖伸出量を求めることができる。

図11 伊勢湾の評価値

図12 三河湾の評価値

図13 大阪湾の評価値

3.2 評価値からみた各錨地の評価

湾によってサンプル数が異なるため確定的なことはいえないが、評価値をもとにして、各湾ごとに考察を加えるとほぼ次のようになる。東京湾の中央部及び湾奥においては全体的にみて評価値のばらつきはほとんどなく水深の差もさほどないことから湾全体が一定の層を成す海底土によって形成されていることがうかがえる。また、緯度35°25'以南の湾口付近において比較的水深が浅く評価値の高いところがみうけられ、この付近から湾の南側に向けて徐々に含砂率の高い底質へと変化するものと思われる、このあたりが東京湾における底質分布状況の変化の基線にあたるであろう。このような底質条件から錨及び錨鎖によって得られる把駐効果は湾の北側よりも南側、湾口のほうがより期待できると思われる。伊勢湾については湾内の沿岸側と湾中央部付近と

で、ある程度の水深差がみられるが両者の評価値に著しい変化はなく、ほぼ2.7付近の値を示している。このことから、伊勢湾の沿岸部および湾中央部において海底土の含泥率にみる組成の変化はなく、ほぼ共通した底質であるといえる。伊勢湾についても緯度34°40'以南における湾口付近の評価値は高く、このあたりの海底土は砂質土によって形成されているといえる。また三河湾については、伊勢湾と近接し底質の形成に影響を及ぼす要因の作用がほぼ同一であろうことから今回、伊勢湾と試料を統一して評価値を求めたが、沿岸、中央部ともに評価値は変化をみず、また湾口付近は評価値が高いなど伊勢湾とほぼ同様の様相を示しているといえる。一方、大阪湾については湾西部及び南西部の試料が不足しているので一概には言えないが、評価値は他湾とほとんど同じ値を示していることから、泥質土の分布域においては、底質が係駐力に与える影響は他湾と同様の傾向を示し、また湾全体の底質の分布状況もほぼ似たものであろうと予測できる。

各湾ともに共通し、概して湾奥よりも湾口の方が比較的评价値の高いところが多くみられる。地質の面から見る限りでは砂質土の方が泥質土に比べ錨効きは遙かによく⁽⁴⁾したがってここに定義した評価値は砂質土の方がより高くなる。一般に、水深が浅く波や沿岸流の影響を比較強く受ける所には砂が分布し、流れが穏やかで波の影響の及ばない水深の所には泥土が分布するといわれているが、湾奥に比べ潮流などの影響を受けやすい湾口部では海底土中の泥質分が流出し砂質土を形成しやすくなることから評価値とこのあたりの理論とは一致するようである。このことから、湾奥に比べ潮流などの自然外力を受けやすくなる点はあるにしても、底質の面から考える限りでは錨地を選定する場合、湾口にこれをもとめる方がより高い係駐力を得られる錨地を選択することができると言えそうである。

4. お わ り に

本論文では、過去数年間に渡り日本各地の港湾において定期的に行ってきた海底土の地質調査の試料と同地における実錨の曳引実験を通じて得た実験値を使用し、調査の対象としている港湾の内、比較的大型船の錨地として使用される4湾について含泥率と錨及び錨鎖の把駐力の関係をもとに、地質の面からみた錨地の評価を行った。結果として、地質学あるいは土質力学の分野で提唱されている理論の裏付けとなる見解を得ることができ、また、錨地の評価という形で底質と錨効きの関係のある程度表現することができた。

各湾を通じ湾口の方が湾奥よりも評価値は概して高く、このことは湾内における地質の分布をも如実に表すものであろう。また、湾ごとの評価値をそのばらつきと大きさの違いにより相対的に比較することにより自ずとそ

の序列を明確にできるであろう。評価値は錨とそれに付随する錨鎖2節分の重量で基準化した把駐係数という意味をもっているがこれはそのまま底質が錨効きに寄与する度合いを示したものであり、当該港湾における錨泊の安全に対する度合いを示唆するものといえる。

過去においては関東圏を中心にした調査、実験が主であったが、数年前から関西方面、東北、北海道など徐々に対象とする港湾を増やしつつある。今後も同様の調査研究を継続し、研究をより充実したものへと発展させるつもりである。

最後に現場の作業においては東海大学調査実習船東海大学丸二世、望星丸二世、第二北斗の船長をはじめ乗組員の方々に多大なるご協力をいただきましたことをここに深く感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) 鈴木常夫：荒天中の錨泊について—アンケートによる—，日本航海学会誌，第106号，平成2年12月
- (2) 鈴木常夫，佐藤治夫：深い錨地の底質と使用錨鎖長，日本航海学会誌，第99号，平成元年3月
- (3) 佐藤治夫，鈴木常夫：錨の大きさと錨効きについて，日本航海学会論文集，第84号，平成3年3月
- (4) 鈴木常夫：安全錨泊と底質との関連についての研究，東海大学大学院昭和63年度博士論文
- (5) 佐藤治夫：短錨鎖の摩擦抵抗，東海大学海洋学部紀要，第26号，1988年
- (6) 佐藤治夫，鈴木常夫：海底土と錨鎖の摩擦抵抗との関連について，日本航海学会誌，第91号，昭和63年3月
- (7) 日本海事協会編：鋼船規則集，昭和54年
- (8) 海事六法編纂委員会編：海事六法，海文堂，昭和60年3月
- (9) 本田啓之輔：操船通論，海文堂

質 疑 応 答

広野康平(東京商船大学大学院)：今回の論文において錨の曳引実験に使用した錨の形状および種類はどのようなものでしょうか。

花房元顕：曳引実験に使用しました錨は100kgおよび300kgのJIS型のストックレスアンカーです。両者の実測寸法については参考文献(3)のP96に表示してありますのでそちらをご参照願います。

小林弘明(東京商船大学)：本論文に示されている地質調査に要した日数はどの程度でしょうか。

花房元顕：我々は日本各地の港湾における地質調査を定期的に行っておりまして、地質調査のための専門の航海が年間約2週間、その他学内の海洋実習の際に行うものが約1週間で、比較的近くの港湾には小型舟艇を用いてその都度出向く場合もあります。今回の論文において対象とした4湾に限って申し上げますと試料収集に約5年、本論文において対象としなかった港湾のものも入れますと同様の調査を10年以上に渡り行ってきた計算になります。