(昭和 61 年 5 月 日本造船学会春季講演会において講演)

小アンカーをタンデムにつないだ係留 ラインの把駐力と型について

正員 桑 野 三 綱*

The Statical Holding Power and Forms of the Tandem Type Anchors on Dry Sand

by Mitsutsuna Kuwano *Member*

Summary

In this paper, the statical holding power and forms of the tandem type anchors on dry sand are investigated theoretically and experimentally.

Tandem type anchor consist of a considerable number of small unit anchors, these small unit anchor has some flukes around shank and be connected tandem.

The results of experiment on dry sand are compared with those of calculation.

1 緒 言

船や浮遊式海洋構造物を海上に係留、位置保持する場合、海中における係留ラインの挙動やアンカーの把駐力については、静的、動的特性について多くの研究が行われている。しかし実際に係留する場合、アンカーの把駐力が必ずしも信頼が置けず、その把駐力をおぎなうため、海面状況に応じチェンの繰り出し長さを変えて、海底に横たわったチェンによる把駐力を増減させ、係留ライン全体の把駐力を保つような使い方が一般的であるが、海底に横たわった係留ラインの挙動に関して論じたものは少ないようである。

ここでは、通常の係留ラインのアンカーと海底に横たわるチェンの部分を把駐力を持った小アンカーをタンデムに連結したタンデム式アンカーにおきかえ、その海底での静的特性を、把駐力と必要長さと型の関連において検討するとともに、乾燥砂中でのタンデム式アンカーの簡単な実験と数値計算を行い、その結果を示す。

2 タンデム式アンカー

アンカーにはいろいろの種類があり、それぞれに特徴があるが、アンカーはその使用目的により不特定な海底土質に対し、安定性、高把駐性、収納性、耐久性、操作性等が重要な性能となる。

タンデム式アンカーとは Fig.1 に示すように、両端に連結環を有するシャンクのまわりに数本の爪を配置し

Fig.1 Tandem type anchor

た小アンカーを多数タンデム式に連結したものであり、個々のアンカーの把駐力は小さいが、全体として大きな把駐力を得ようとするものである。

その特徴は、

- 1) アンカーが前後に引張られているために姿勢が安定している。またシャンクを軸に回転しても把駐力の変化は小さい。
- 2) 海底に埋没していても 1 個ずつ引き出すために小さい力で抜錨出来る。
- 3) 把駐力が調整可能であり、衝撃力が加わってもタンデム式アンカーの一部が持上がるか方向を変えることによりダンピング効果を持つ。
- 4) 海底で岩等に引掛った場合でも、爪の強度をチェンの破断力より小さくしておけば、爪が折れるだけでアンカーの全損事故がなくなり、把駐力が失われることはない。

* (株)白杵鉄工所

5) 分解すれば取り扱いが簡単である。
等が考えられる。

3 タンデム式アンカーの静的特性

3.1 計算条件

海底に横たわったタンデム式アンカーは、最初海底に投下された状態から直線状に引張られ、ついで風や潮流の変化により船の方向が変わったとき、曳きずられてある角度まで振られて釣合う。その時のタンデム式アンカーの形状、張力、長さの関係を求める。

計算には次の仮定をする。

- 1) タンデム式アンカーは完全に曲り易く、モーメントは働かず、伸びもなく曲線に近似出来る。
- 2) 水平な海底の2次元運動であり、海底の凹凸や抗力係数の変化はない。
- 3) タンデム式アンカーが振られて釣合った状態で、小アンカーにはシャンク軸方向、およびシャンクに直角方向に小アンカーの最大静止軸抗力、および最大静止横抗力が働いており、最大静止抗力以上の力が働いた時は釣合うまで移動し、最大静止抗力と釣合った所で安定する。
- 4) 潮流、波等の他の力は働かないものとする。

3.2 釣合方程式

Fig. 2 のようにタンデム式アンカーがある曲線状に釣合っているとき、最初向いていた方向を x 軸、曲る方向に x 軸に直角に y 軸、曲り始める位置を原点に取る。

A 点における微少長さ ΔS に働く力の釣合いを考える。

Fig. 2 に示すように記号を次のように定める。

T_0 : 原点における曲線の接線方向の張力。

T : A 点における曲線の接線方向の張力。

T_1 : A 点から $(1/2)\Delta S$ だけ原点から離れた点の曲線の接線方向の張力。

T_2 : A 点から $(1/2)\Delta S$ だけ原点に近い点の曲線の接線方向の張力。

ΔT : T_1 と T_2 の張力の差

θ : A 点における曲線の接線が x 軸となす角度。

$\Delta\theta$: T_1 と T_2 が x 軸となす角度の差。

Fig. 2 Coordinate system

w : タンデム式アンカーの継手を含めた単位長さ当たりの平均重量。

S : タンデム式アンカーの継手を含めた弦弧長さ。

ΔS : タンデム式アンカーの微少長さ。

p : タンデム式アンカーの接線方向に ΔS に働く抗力。

q : タンデム式アンカーの法線方向に ΔS に働く抗力。

ΔS に対する力の釣合方程式は次のようになる。

x 軸方向の釣合方程式

$$T_1 \cos \theta_1 + q \sin \theta - p \cos \theta - T_2 \cos \theta_2 = 0 \quad (1)$$

y 軸方向の釣合方程式

$$T_1 \sin \theta_1 - q \cos \theta - p \sin \theta - T_2 \sin \theta_2 = 0 \quad (2)$$

微少量を無視すると、 ΔT , $\Delta\theta$ は小さいので、

$$\left. \begin{aligned} T_1 &= T + (1/2)\Delta T & T_2 &= T - (1/2)\Delta T \\ \theta_1 &= \theta + (1/2)\Delta\theta & \theta_2 &= \theta - (1/2)\Delta\theta \\ \sin(1/2)\Delta\theta &= (1/2)\Delta\theta & \cos(1/2)\Delta\theta &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

と置ける。また

$$p = \mu_1 \Delta S w \quad q = \mu_2 \Delta S w \quad (4)$$

(μ_1 : シャンク軸方向の抗力係数, μ_2 : 横方向の抗力係数), とすると

$$\Delta S = \Delta x / \cos \theta \quad (5)$$

なので (3), (4), (5) 式を (1), (2) 式に代入して整理すると

$$\Delta T \cos \theta - T \Delta\theta \sin \theta - \mu_1 \Delta x w + \mu_2 \Delta x w \tan \theta = 0 \quad (6)$$

$$\Delta T \sin \theta + T \Delta\theta \cos \theta - \mu_1 \Delta x w \tan \theta - \mu_2 \Delta x w = 0 \quad (7)$$

となる。

$$T_0/w = t_0, \quad T/w = t, \quad \Delta T/w = \Delta t, \quad S/l = s$$

(l はタンデム式アンカーの単位長さ。) として無次元化し、極限值を取ると、(6), (7) 式は

$$\cos \theta dt - t \sin \theta d\theta - (\mu_1 - \mu_2 \tan \theta) dx = 0 \quad (8)$$

$$\sin \theta dt + t \cos \theta d\theta - (\mu_1 \tan \theta + \mu_2) dx = 0 \quad (9)$$

(8), (9) 式を $\theta=0$ で、 $x=0$, $y=0$, $t=t_0$ の初期条件で解くと

$$t = t_0 e^{\frac{\mu_1}{\mu_2} \theta} \quad (10)$$

$$x = \frac{t_0}{\mu_1^2 + \mu_2^2} \{ (\mu_1 \cos \theta + \mu_2 \sin \theta) e^{\frac{\mu_1}{\mu_2} \theta} - \mu_1 \} \quad (11)$$

$$y = \frac{t_0}{\mu_1^2 + \mu_2^2} \{ (\mu_1 \sin \theta - \mu_2 \cos \theta) e^{\frac{\mu_1}{\mu_2} \theta} + \mu_2 \} \quad (12)$$

$$s = \frac{t_0}{\mu_1} (e^{\frac{\mu_1}{\mu_2} \theta} - 1) \quad (13)$$

となる。

種類の異なる数種類の係留ラインがつながっている場合、例えば Fig. 1 でチェンの部分が海底に横たわって曲線の一部をなしている場合でも、チェンの長さ θ , t が

Fig. 3 Measuring apparatus

与えられれば、チェーンの部分とタンデム式アンカーの部分の接点で連続であるとして、チェーンの t_0 をそのままタンデム式アンカーの t として解けば、一種類の場合と同様にして解ける。

以上によりタンデム式アンカーの型がA点の座標 (x , y) として求まり、弦弧の長さ s , 張力 t_0 が求められる。

4 実験と数値計算

4.1 実験装置

Fig. 3 に示す実験装置を作り、Fig. 4 に示す2種類のタンデム式アンカーの模型について、乾燥砂中における曳引試験を行った。A型はマッシュルーム型、B型は三本爪であり、空中重量は1個 282.5 グラム、および 135.0 グラムである。直径 8mm の丸棒のシャンクにナットで爪を取り付けてあり、必要に応じ爪の交換が出来るようになっている。各模型アンカーの間は釣糸で 1cm 間隔で連結されており、曲り、回転に対して自由に動くようになっている。使用した砂は乾燥砂であり、その性状は Table 1 に示す。

実験中は適当に耕し表面をならした状態でアンカーを曳引している。文献^{1),2)}によると曳引速度による把駐力の影響はほとんどないので、正確な速度制御は行

A - type

B - type

Fig. 4 Model anchor

っていないが、約 1cm/sec~2cm/sec の間で曳引している。張力の計測は Fig. 3 に示すごとく、バネ計りの下にバネワッシャを利用したロードセルを吊し、滑車を通したロープで模型アンカーを曳引して計測している。

4.2 μ_1, μ_2 の計測

μ_1, μ_2 の計測は、模型アンカーを1個から曳き始め、8個まで順次1個ずつ増していき、各個数ごとに数回曳引してその平均値を取った。計測する時は適度に曳引して十分砂をかき込んだ後、静止した状態から動き始める初頭の値を計測した。

μ_2 を計測する時は、 Γ 状の木枠を天井から吊し模型アンカーの両端にゴムで約 10t の張力をかけると共に、曳引棒から各模型アンカーの連結部に回転自由な環を釣糸で結び、全部のアンカーに同時に力が働くようにして横方向に曳引している。

以上のようにして計測した計測結果を Fig. 5~Fig. 8 に示す。その回帰係数 (把駐係数=アンカー単体の乾燥砂中の把駐力/アンカー単体の空中重量、に等しい) は、A型で $\mu_1=9.219$, $\mu_2=1.270$, B型で爪の方向が

Table 1 Quality of dry sand

比重	単位重量	内部摩擦角	鉄板との摩擦角	安息角
2.634	1.499 g/cm ³	30°53'	15°30'	30°17'
粒径 mm	2.00	0.84	0.42	0.25
重量百分率 %	100	99.75	67.20	31.40
				0.50
				0.074
				0.25

Fig. 5 μ_1, μ_2 A-Type Fig. 8 μ_1, μ_2 B-Type Y-Form Fig. 6 μ_1, μ_2 B-Type 人-Form Fig. 7 μ_1, μ_2 B-Type <-Form

砂に対し人状のときが $\mu_1=9.920$, $\mu_2=1.835$, <状のときが $\mu_1=10.156$, $\mu_2=2.309$, Y状のときが $\mu_1=10.578$, $\mu_2=2.643$, である。B型の数値計算には、各状態の μ_1, μ_2 の平均値を使用している。

4.3 数値計算および曳引試験

以上の実験からまとめた μ_1, μ_2 を用い、また単位長さ l は1個の小アンカーのシャングの長さで連結用釣糸の合計長さを、単位重量 w は小アンカー1個の空中重量を用い、(10), (11), (12) 式を各 θ および t について数値計算を行い、 t_0, s を求めた。これをグラフに表わしたものが Fig. 9, Fig. 10 である。曳引角度が最始の状態よりA型で約 40° , B型で約 50° を超えると t_0 はほとんど0になる。またそれ以下の角度でも t_0 による把駐力を考慮すると、曳引力に対する把駐力の必要長さは同一であることが分かる。

次に模型アンカーの曳引試験を行い計算値との比較を行った。実験は Fig. 3 の実験装置を用い、模型アンカーをベースラインに平行に置いた状態から、曳引点を移動させることにより角度を変化させて計測を行っている。計測は十分秒をかき込んでおりかつ各小アンカーの間には張力が働いてない状態から曳き始め、次々に張力が加わり始める小アンカーの数で s を確認し、原点の位置はベースラインから角度がつき始める位置を模型アンカーが回転を始める所として確認した。 t_0 は小アンカーと小アンカーの間にロードセルを取り付け各位置の張力を計測している。

以上により計測した値を Table 2 に示す。 θ については 20° から 50° まで 10° ごとに、A型は $t=100$ でB型は $t=150$ で計測を行った。また $\theta=40^\circ$ で、A型は $t=25, 50, 75$, B型は $t=50, 100$, でも計測している。実際の計測値は表に示すとおり狙った値と多少ずれる。

Table 2 Result of experiment

Experiment					Calculation	
A-Type						
θ	θ	t	s	t_0	s	t_0
20°	20.0°	99.1	9	7.1	9.9	7.9
30°	30.5°	101.0	11	8.7	10.7	2.1
40°	40.0°	24.7	3	2.1	2.7	0.2
	40.5°	49.9	6	2.1	5.4	0.3
	41.0°	79.9	9	4.9	8.6	0.4
	40.5°	94.3	10	7.8	10.2	0.6
50°	50.5°	96.4	10	4.3	10.4	0.2
B-Type						
θ	θ	t	s	t_0	s	t_0
20°	19.5°	150.2	12	28.0	11.5	32.3
30°	29.0°	147.3	13	9.0	13.0	15.0
40°	40.0°	51.9	4	4.4	4.9	2.2
	41.5°	104.8	10	1.2	9.9	4.0
	40.0°	156.2	14	6.5	14.6	6.7
50°	49.5°	161.2	17	9.9	15.5	3.3

Fig. 9 S, to A-Type

Fig. 10 S, to B-Type

Fig. 11 Tandem type anchor form
A-Type Fig. 12 Tandem type anchor form
B-Type

ているが、表に示す計算値は実際の計測値に対するものである。またその内 $\theta=40^\circ$ でA型は $t=100$, B型は $t=150$ のものについて曳引されたときの型を計算値と計測値の比較をし Fig. 11, Fig. 12 に示している。

5 結 言

海底に横たわったタンデム式アンカーで構成される係留ラインについて、曳引力に対する把駐力、必要長さ、型の計算式を導くとともに、乾燥砂中における2種類の模型アンカーについて実験により明らかにした。

今回は乾燥砂中での検討であるが、海底においても抗力係数、重量等を適切にえらべば同様な取り扱いが出来るものと思われる。数式については曲線として近似したが小アンカーの数が少ない時のように、小アンカーの結

合部で折れ曲った折線としての取り扱いが必要な場合については今後の課題である。

最後に砂の性質について調査していただいた大分工業高等専門学校土木工学科長友教授、ならびに貴重な批評と実験の協力をいただいた当設計部の皆様に厚く御礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 浦 環：アンカーの安定性に関する基礎的研究，日本造船学会論文集 第140号（昭和51年11月）p. 279～285.
- 2) 野村士平，鞠谷宏士：矩形板の把駐力について，日本航海学会論文集 49号（昭和48年7月）p. 7～17.