

# 論 說 報 告

第 25 卷 第 9 號 昭和 14 年 9 月

## 繫 船 浮 標 の 爬 駐 力

會 員 近 藤 市 三 郎\*

**要 旨** 繫留船舶が暴風の爲に風下方へ押し流されんとする際にその發揮し得る爬駐力は錨の大きさ、錨鎖の長さ及大きさ等によつて限定せられる。繫船浮標の様式及錨鎖の配置は是を地理的條件に據つて選定し、錨、錨鎖は是を海底地質條件に最も適応する様に設計すべきである。本文には之等の間に存在する力学的關係を述べて設計々算の一例を掲げた。

### 目 次

- |                |                      |
|----------------|----------------------|
| 1. 序 語         | 5. 錨鎖の長さが錨の把握力に及ぼす影響 |
| 2. 荒天時に於ける繫船浮標 | 6. 繫船浮標の爬駐力          |
| 3. 懸垂曲線を形造る錨鎖  | 7. 結 び               |
| 4. 沈鍾及錨の把握力    |                      |

### 1. 序 論

繫船浮標を港内に設置する目的は

- (1) 港内水面積を成るべく有効に利用して出来るだけ多數船舶の碇泊を可能ならしむること。
- (2) 出入船舶の輻輳と混雑を防ぎ、港内の整理整頓に務め港長の管理、監督を容易ならしむること。
- (3) 船舶の港内航行を容易且つ安全ならしむること。
- (4) 繫留船舶をして常に安全且つ確實に碇泊せしむること。

繫船浮標は極く簡単なものより近年の大洋就航巨船を繫留するものに至るまで様式、形式、大きさ等に種々ある。

次に簡単に説明しやう。

図-1.

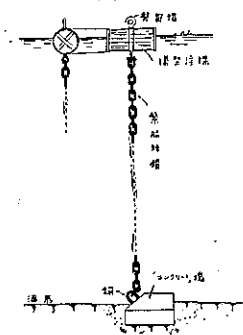
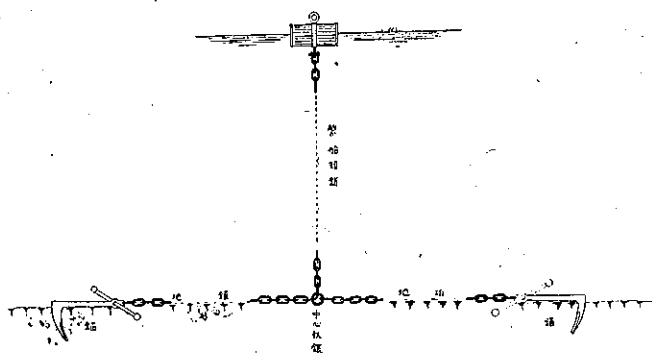


図-2. 双錨鎖繫留式



最も簡単な繫船浮標は図-1 の如く浮標は木造樽型、鍾はコンクリート塊にして是に鑿を取付け鎖で連結する。この式は一般に航路標識用とか、港内ランチの如き小船の繫留に使用せられる。一般に海底が硬質の場合には鍾を重くする必要あるが、軟質の場合には鍾の底面を凹形にすれば地盤に能く吸着して相當信頼出来る程度の把握力を有する。

\* 工学士 大阪市技師

小船繫留用の簡単な繫船浮標は図-2 の如く双錨鎖繫留式である。この式の缺點は錨鎖を緊張させて海底に設置することが困難な點で、若し弛緩した場合は中心鉄環を固定する事が出来ないから浮標を廣範圍に浮遊せしむる。

此の缺點を補つて中心鉄環を容易に維持するものは図-3 に示す如き三錨鎖繫留式である。嚙入の良好な海底では中心鉄環を確實に維持する事は出来るが港内航路に接近して設置すれば一方向の錨鎖は多くの場合航路内に食み出す缺點を有する。

図-4 は四錨鎖繫留式のもので、図-3 の三錨鎖の代りに四錨鎖を用いたものである。昔は造船所等に接近して設置する場合によく利用し、この式は中心鉄環を殆ど固定する事が出来る。

上述各式の缺點を除く爲に図-5 の如き架徑繫留式が考案され、特に河川等に沿つて設置するに至極適応し航路内及河川敷等には何等障碍を與へない。

近年一般に廣く用ひられ繫船浮標としての機能を充分に發揮してある様式は、錘を併用して中心鉄環を1點に確實に維持し、錨鎖は2方向に設置するか、3方向に設置し、上記の図-1と図-2又は図-3の各特徴を組合はしたもので図-6に示す。之は双錨鎖繫留式ではあるが三錨鎖式にまで擴大する事が出来、此の場合錨鎖の食み出しは錨鎖間の角度を適宜に変更すれば除き得られる。

前後繫留にも色々の様式はあるが、夫等は図-7、8の2様式が基本となつてゐる。

長期繫留船舶には図-7に示す繫留式が最も適合した方法で、繫留短索は前後各2本あり夫々直接に錨又は艇に連結してゐる。錨には副錨を添へて爬駐力を増大し突風等の強大なる索引力に抵抗する様にしてゐる。

短期繫留船舶には繫留作業を容易に行ふ爲に図-8の如く浮標と繫留環を用ひ、是に鎖住された繫留索はスキブ

図-3. 三錨鎖繫留式

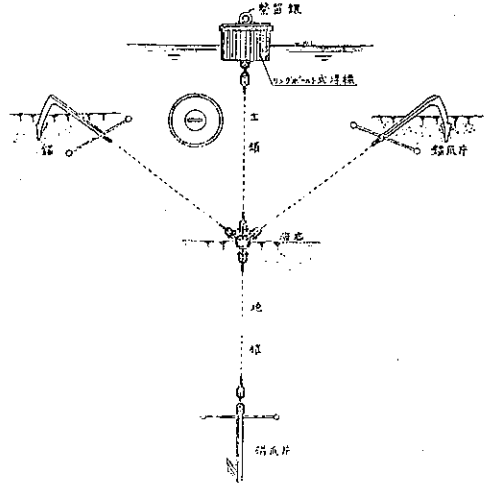


図-4. 四錨鎖繫留式

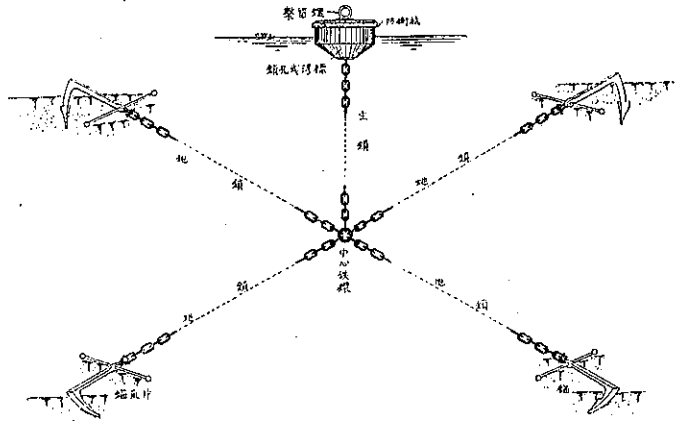
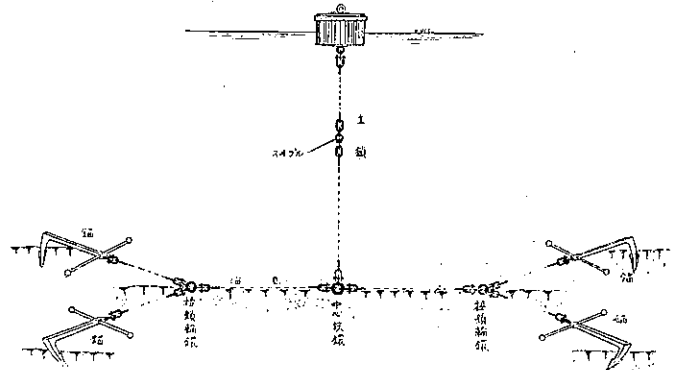


図-5. 架徑繫留式



ルを経て繋留短索に続く。今日一般に使用する様式は船が長くなつた爲地鎖を廢めて連結個所に錘を挿入し繋留短索を1本とした図-9の如き形式で、即ち図-6の様式のもの船舶の前後に1組宛配置してゐる。本式は繋留船舶が浮標を中心として廻轉することはないから港内水面積を有効に利用出来る。

螺旋繋留は商港又は河港等に廣く使用せられ、沈泥質或は軟粘土質地盤の港に於ては図-10の如く螺旋を附し之を海底に捻じ込めば充分の爬駐力を發揮し、材料も亦頗る經濟的である、然し一度之を設置すれば修理の爲に再びそれを引き揚げることは非常に困難を伴ひ殆ど不可能である。

以上で繋留浮標の目的、各種様式並に特徴に就て概説した。

港内に碇泊する船舶は平穩時に出来るだけ安全、容易、便利に繋留、離繋作業の行ひ得ることを希望するが又荒天時に於ても安全確實を期し得られねばならぬ。然るに本邦港灣内の遭難船舶數はその率歐米に比して遙か

図-6. 双鎖鎖繋留式

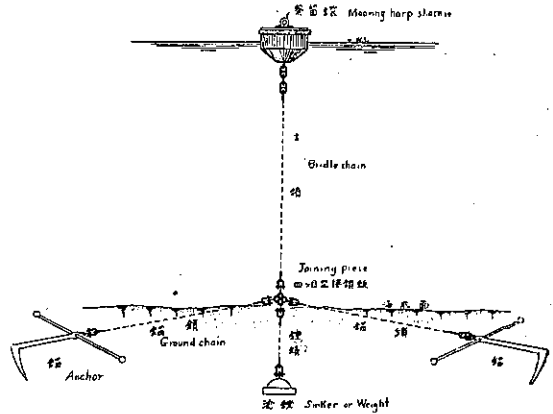


図-7. 長期繋留船舶に對する前後繋留式

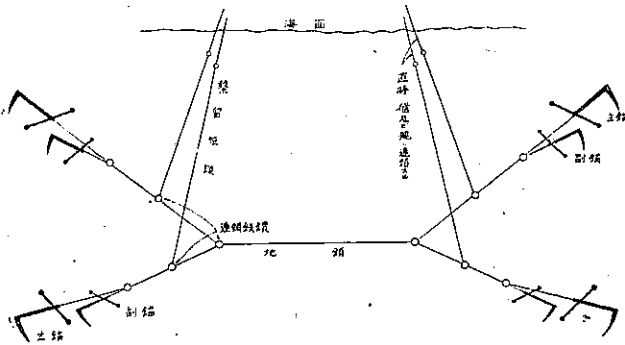


図-8. 短期繋留船舶に對する前後繋留式

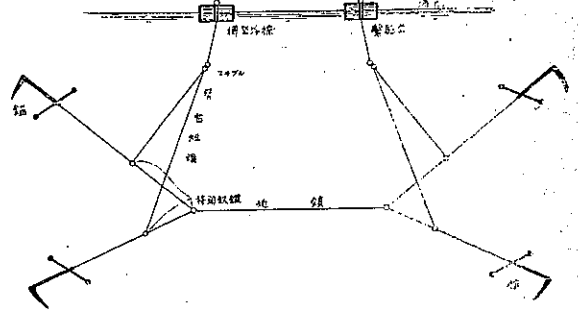


図-9. 前後繋留

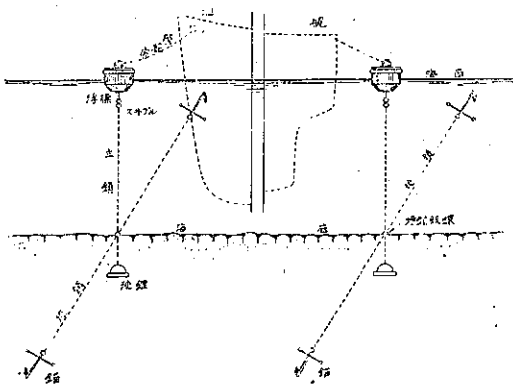
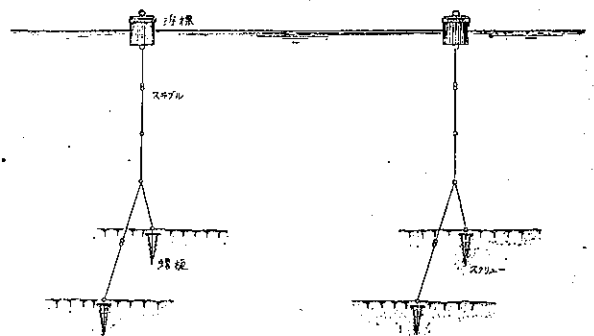


図-10. 螺旋繋留



に高い事は周知の事實にして、これは地理的環境、即ち頻々たる暴風雨の襲來、濃厚なる海霧の發生、強烈なる海流等、多數老級船の就航、船舶の輻輳、港灣取締りの不徹底、港内施設の不備等幾多の原因が相錯して惹起さるゝものと思はれる。港灣施設が船舶操縦上より見て便宜且つ容易であり、碇泊上より見て安全且つ確實を保證出来るならば海難の機會は非常に減少するものと思ふ。従つて航路標識、繫船浮標等の完備の必要が愈々高唱せられねばならぬ。次に此の中の繫船浮標に就て述べて見やう。

## 2. 荒天時に於ける繫船浮標

一般に繫留船舶は風下向に吹き流される傾向があるが、荒天時には風向、風速は一様でなく、緩張あり、間断あり、その外に波浪、潮流の方向が夫々相異り、必ずしも船舶の方向は風の方向と一致しない。一般に浮標を中心として前後左右に移動するから錨に動的張力が作用することとなり、錨鎖は水中に在つて激しく動揺する。元來錨の滑動、錨鎖の切斷等を惹起すべき主なる原因は船の動揺に因る動的外力である。

荒天時の繫船浮標は船舶より受ける牽引力に對し最大の繫船能力を發揮する状態となる、即ち錨がその最大の把握力に因り船舶の圧流を防止し、沈錘は海底より持揚げられてその重量で懸垂し、浮標も亦海面を上下して浮力を働かし、錨鎖は海底と浮標との間に懸垂の状態となつてゐる。

次に繫船浮標の形式として最も廣く採用されてゐる圖-6 に就て述べる。

繫留船は前述の如く前後に移動すると錨鎖も共に伸縮動揺する。船体に受けた圧力の爲に繫留索が牽引せられ主鎖は沈錘との間に伸張し遂に沈錘が海底より引き起される。然し錘鎖と地鎖の長さの關係に依つて沈錘より先きに錨に牽引力が働く事が有る。沈錘が海底を離れると牽引力は悉く錨に傳はり、その把握力にて爬駐し、主鎖及地鎖は浮標と海底との間に半懸垂曲線を描いて懸吊し、沈錘の接続點即中心鉄鎖の個所で曲線は屈折して切線の方角を変じ、又浮標と錨鎖孔筒の間の繫留索も懸垂曲線を描き浮標の個所で切線の方角を変へる。牽引力の大小に応じて曲線の曲率が増減し、曲線は伸縮して繫留船舶は前進及後退する。今後退する場合、牽引力と張力との平衡點に達しても停止せず、運動量の爲「行き足」を持ちつゝ錨鎖を伸長して張力は牽引力以上に増大し、遂にこの運動量は殺滅されて初めて停止する。次に過大の張力の爲め逆に錨鎖が船を前進せしめて力の平衡點に向つて復歸せんとする、即船舶は平衡點を中心に減衰振動をなす。途中で懸垂する沈錘はこの前後振動の振幅を小さくし、船の「行き足」を短くする。従つて運動量は減ぜられ錨の把握状態に及ぼす危険はそれだけ軽減する。

錨の海底に於ける把握状態は海底土質に因つて相異なるが、適當に錨を設計すれば牽引力の増大に従ひ次第に錨鉤を嚙入せしむるから把握力は増大する。又錨は布設後年と共に次第に海底下に潜入して行く、特に土質の軟弱個所では1.5~2mも潜つてゐる事がある。斯様な場合錨の把握力に及ぼす牽引方向の影響は少なくなる。

若し錨の方角とある傾きを以つて引張られると抵抗力は非常に小さいものとなり、錨は力の方角へ廻転する。海底が粘土質ならば錨鉤に粘土が附着したまゝ廻転して遂に粘土と粘土との摩擦力となり走錨の危機に到達する。故に船の『振れ廻り』が直ちに錨へ影響しない様地鎖に餘裕を與へることが必要である。然し錨の大部分が海底下へ潜没してゐる場合には錨鉤に附着する粘土の吸着力が大きく、多少の方角廻転も錨に直接の影響を及ぼさない。

## 3. 懸垂曲線を形造る錨鎖

錨鎖は2つの支點間に懸垂曲線をなす事は既に説明した。例へば繫船浮標では浮標と海底の錨との間、浮棧橋では浮函の鎖孔と他の鎖孔或は陸地護岸の鉄鎖、若しくは錨との間、船舶に於ては錨鎖孔筒と錨との間等、之等

の2支點間に夫々懸垂曲線か半懸垂曲線を形造り、1支點を固定せしめて他の支點の移動を制限せんとする。海面に浮揚する船舶とか浮棧橋はそれ自体は海面に制動の装置或は設備を有しないから海底又は陸地と連絡して最も効果的に制動作用を傳へしむる爲め、重くて可撓性の鎖を兩者間に利用する。

錨鎖の描く懸垂曲線の性質を演釋しその特性を詳にする必要がある。

(1) 懸垂曲線：懸垂曲線の方程式は次の如し図-11 參

図-11.

照

$$y = \left(\frac{a}{2}\right) \left(e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}}\right) = a \cosh(x/a) \dots \dots (1)$$

茲に  $a = \frac{T_0}{\tau g}$ ,  $\tau$ : 線密度,  $g$ : 重力の加速度

$$y = \sqrt{a^2 + S^2} \dots \dots \dots (2)$$

$$S = \sqrt{y^2 - a^2} = a \sinh(x/a) \dots \dots \dots (3)$$

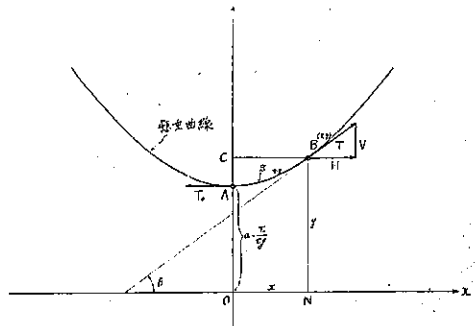
$$T = \tau g y = w y \dots \dots \dots (4) \text{ 茲に } \tau g = w \dots \dots (5)$$

$$\text{高差 } CA = y - a = a(\cosh(x/a) - 1) \dots \dots \dots (6)$$

$$\tan \theta = s/a = \sinh(x/a) \dots \dots \dots (7)$$

$$\sec \theta = y/a = \cosh(x/a) \dots \dots \dots (8)$$

$$x = a \log(\sec \theta + \tan \theta), y = a \sec \theta, S = a \tan \theta \dots (9)$$



(2) 懸垂曲線が扁平状をなす場合：懸垂曲線が扁平で水平に近い場合は、 $a$  に比して  $x$  は非常に小さい。即  $0 < x/a < 1$  の場合には  $x/a$  の高次項は小さくなり、その係数も項に応じて減少する。今4次までをとり、5次以上を省略すれば

$$y - a = \delta = \frac{1}{2} \cdot \frac{x^2}{a} + \frac{1}{24} \cdot \frac{x^4}{a^3} \dots \dots \dots (10) \quad \delta; \text{高差 となり,}$$

$$S = x + \frac{1}{6} \cdot \frac{x^3}{a^2} \dots \dots \dots (11) \quad \text{となる。}$$

$$\therefore x^2 = \frac{3aS^2}{a+2y} = \frac{3aS^2}{3a+2\delta} \dots \dots \dots (12)$$

次に3次までとつて、4次以上を省略すれば

$$y = a + \frac{x^2}{2a} \quad \therefore \delta = y - a = \frac{x^2}{2a}$$

故に懸垂曲線は扁平になると楕円曲線に近くなる。之を(11)式に代入して

$$S = x + \frac{2\delta^2}{3x} \dots \dots \dots (13)$$

$$\therefore \delta = \sqrt{\left(\frac{3x}{2}\right) \cdot (S-x)} \dots \dots \dots (14)$$

B 點に於ける張力  $T$ , 曲下點より B までの索の重量を  $W/2$  とすれば

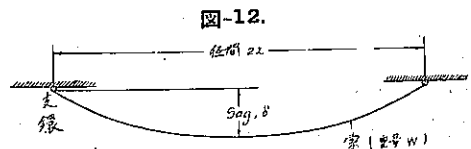
$$T = \frac{1}{2} W \cot \theta = \frac{W a}{2x} = \frac{W x}{4\delta} = \frac{W(2x)}{8\delta}$$

図-12 に於いて索の全重量を  $W$ , 中央の垂下を  $\delta$  とすれば、索の兩端の最大張力  $T$  は

$$T = 1/8 \times (\text{全重量} \times \text{支點間距離} / \text{支點中央垂下}) \dots \dots (15)$$

又(2)式を変形して  $2a(y-a) = S^2 - (y-a)^2 \therefore 2a\delta = S^2 - \delta^2$

$$\therefore a = \frac{S^2 - \delta^2}{2\delta} \dots \dots \dots (16)$$



(16)式に(13)式を代入すれば  $a = \frac{1}{2}\delta(x^2 + \frac{4\delta^2}{3} + \frac{4\delta^4}{9x^2}) - \frac{1}{2}\delta$  第3項を省略し

$$a = \frac{x^2 + \delta}{2\delta} + \frac{\delta}{6} \dots\dots\dots(17)$$

此の近似式は  $x/a$  が 0.3 以下の時、割合大差なく利用し得るものである。

(3) 懸垂曲線の兩支點が異なる高さに在る場合： 図-13 の如く  $A, B$  支點に支へられ、曲下點を通る鉛直線を  $y$  軸に、又曲下點より parameter  $a$  だけ下りたる水平線を  $x$  軸に採る。

図-13.

$$S = a \sinh\left(\frac{c-u}{a}\right) + a \sinh(u/a) = 2a \sinh(c/2a) \times \cosh\left(\frac{c-2u}{2a}\right) \dots\dots\dots(18)$$

$$v = a \cosh(u/a) \dots\dots\dots(19)$$

$$b = a \cosh\left(\frac{c-u}{a}\right) - a \cosh(u/a) = 2a \sinh(c/2a) \times \sinh\left(\frac{c-2u}{2a}\right) \dots\dots\dots(20)$$

$$\therefore \sqrt{S^2 - b^2} = 2a \sinh(c/2a) \quad S + b = 2a \sinh(c/2a) \times e^{\frac{c-2u}{2a}} \quad (21)$$

$$\therefore u = \frac{1}{2} \left\{ c - 2a \log \frac{S+b}{2a \sinh(c/2a)} \right\} \dots\dots\dots(22)$$

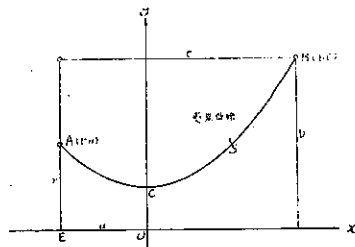
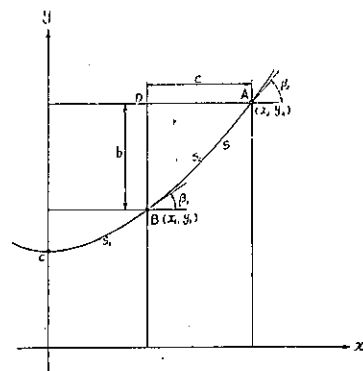


図-14.

(4) 懸垂曲線の兩支點間に曲下點が存在しない場合： 今図-14 の如く  $A, B$  2 支點で鎖が支へられれば、 $AB$  間に懸垂曲線を形成する。座標軸は前同様、曲下點  $c$  を通る鉛直線と、 $c$  点より  $a$  だけ下方の水平線を  $y$  軸、 $x$  軸とする。



$A$  の座標  $(x_2, y_2)$      $b$ :  $AB$  2 支點間の鉛直距離  $= BD = y_2 - y_1$   
 $B$  の " "  $(x_1, y_1)$      $c$ :  $AB$  2 支點間の水平距離  $= AD = x_2 - x_1$

$S$ :  $\widehat{AB}$  鎖の全長     $S_1$ :  $\widehat{BC}$  の鎖の全長     $S_2$ :  $\widehat{AC}$  の鎖の全長    とすれば

$$y_2 = \left(\frac{a}{2}\right) \left(e^{\frac{x_2}{a}} + e^{-\frac{x_2}{a}}\right) \quad S_2 = \left(\frac{a}{2}\right) \left(e^{\frac{x_2}{a}} - e^{-\frac{x_2}{a}}\right)$$

$$y_1 = \left(\frac{a}{2}\right) \left(e^{\frac{x_1}{a}} + e^{-\frac{x_1}{a}}\right) \quad S_1 = \left(\frac{a}{2}\right) \left(e^{\frac{x_1}{a}} - e^{-\frac{x_1}{a}}\right)$$

$$b = y_2 - y_1 = \frac{a}{2} \left\{ \left(e^{\frac{x_2}{a}} - e^{-\frac{x_2}{a}}\right) \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{x_2}{a} + \frac{x_1}{a}}}\right) \right\}$$

$$S = S_2 - S_1 = \frac{a}{2} \left\{ \left(e^{\frac{x_2}{a}} - e^{-\frac{x_2}{a}}\right) \left(1 + \frac{1}{e^{\frac{x_2}{a} + \frac{x_1}{a}}}\right) \right\}$$

$$\therefore b + S = a \left(e^{\frac{x_2}{a}} - e^{-\frac{x_1}{a}}\right), \quad e^{\frac{x_2}{a}} - e^{-\frac{x_1}{a}} = \frac{b + S}{a} \equiv K \quad \text{とおけば}$$

$$b = \frac{a}{2} \left\{ K \left(1 - \frac{1}{(K + e^{\frac{x_1}{a}}) e^{\frac{x_1}{a}}}\right) \right\}$$

$$\therefore (K + e^{\frac{x_1}{a}}) e^{\frac{x_1}{a}} = \frac{aK}{aK - 2b} = \frac{S + b}{S - b}$$

$$\therefore e^{\frac{x_1}{a}} = \frac{S+b}{2a} \left( \sqrt{1 + \frac{4a^2}{S^2-b^2}} - 1 \right) \equiv L_1 \quad \text{とおけば}$$

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= a \log L_1, & L_1 &= \frac{S+b}{2a} \left( \sqrt{1 + \frac{4a^2}{S^2-b^2}} - 1 \right) \\ x_2 &= a \log L_2, & L_2 &= \frac{S+b}{2a} \left( \sqrt{1 + \frac{4a^2}{S^2-b^2}} + 1 \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (23)$$

$$C = x_2 - x_1 = a \log \frac{L_2}{L_1} = a \log \frac{1}{2} \left\{ 2 + \frac{1}{a^2}(S^2-b^2) + \frac{1}{a^2} \sqrt{S^2-b^2} \sqrt{4a^2 + (S^2-b^2)} \right\}$$

$$\frac{S^2-b^2}{a^2} = N \quad \text{とおけば}$$

$$C = a \log \left[ 1 + \frac{1}{2}(N + \sqrt{N} \cdot \sqrt{4+N}) \right] \dots\dots\dots (24)$$

次に図-15 に於て  $\beta_1, \beta_2$  を夫々 B, A 支點に於ける切線の傾きとすれば、

$$\sec \beta_1 = \sec \beta_2 - b/a, \quad \tan \beta_1 = \tan \beta_2 - S/a \dots\dots\dots (25)$$

$$a = \frac{\cos \beta_2 (S^2 - b^2)}{2(-b + S \sin \beta_2)} \quad \text{又は} \quad a = \frac{\cos \beta_1 (S^2 - b^2)}{2(b - S \sin \alpha_1)} \dots\dots\dots (26)$$

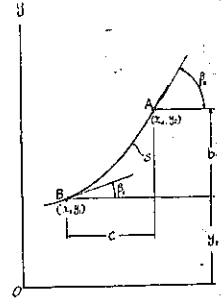
若し  $\beta_1 = 0$  にして B 點が C 點と一致する場合は

$$a = (S^2 - b^2) / 2b \dots\dots\dots (27)$$

今 (26) 式に於いて  $(S^2 - b^2) / 2a \equiv B$  とおけば  $\beta_1$  の式が得られる、

$$\beta_1 = \sin^{-1}(b / \sqrt{B^2 + S^2}) - \sin^{-1}(B / \sqrt{B^2 + S^2}) \dots\dots\dots (28)$$

図-15.



(5) 懸垂曲線に折點がある場合： 図-16 に於いて B 點に  $W_0$  なる錘が懸吊すれば同點に 2 本の切線が存在し折點となる。

曲線 AB に於いて、P 點の切線の方法は

$$dy/dx = 1/a \left( \int_{x_1}^x \sqrt{1 + (dy/dx)^2} dx + S_1 + w_0 \right)$$

$$\therefore x/a = \log(p + \sqrt{1+p^2}) + C, \quad C \text{ は積分常数}$$

今  $x = x_1$ , 即ち B 點に於いて  $p = (S_1 + W_0) / a$  なれば

$$\begin{aligned} x_1/a &= \log \left\{ (S_1 + w_0) / \left( a + \sqrt{1 + (S_1 + w_0)^2 / a^2} \right) \right\} + C \\ &\equiv \log M + C \end{aligned}$$

故に

$$Y = y - y_1 = \frac{a}{2} \left\{ M \left( e^{\frac{x-x_1}{a}} - 1 \right) + \frac{1}{M} \left( e^{-\frac{x-x_1}{a}} - 1 \right) \right\} \dots\dots\dots (29)$$

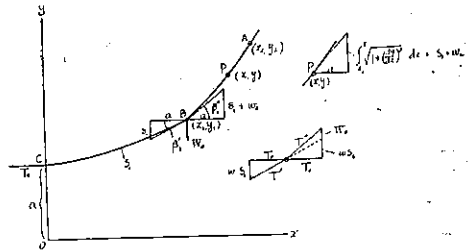
但し  $y \geq y_1, x \geq x_1$  なる範圍に於いて成立する。同式は懸垂曲線 AB の式である。同様に

$$S = S - S_1 = \frac{a}{2} \left\{ M \left( e^{\frac{x-x_1}{a}} - 1 \right) - \left( \frac{1}{M} \right) \left( e^{-\frac{x-x_1}{a}} - 1 \right) \right\} \dots\dots\dots (30)$$

$$x - x_1 = 2a \log \frac{1}{2a} \left( \sqrt{S^2 - Y^2} + \sqrt{4a^2 + (S^2 - Y^2)} \right)$$

本式は  $Y = b$  とすれば (24) 式になる。

図-16.



今次の図-17 に於て、ABC を錨鎖孔筒より海底に達して静止せる錨鎖の一部とす。AB 間の錨鎖の張力を考ふると、

$T, T'$  を夫々 A, B 點に於ける錨鎖の張力、

$\alpha, \beta$  を夫々 A, B 點に於ける切線の傾斜角とすれば

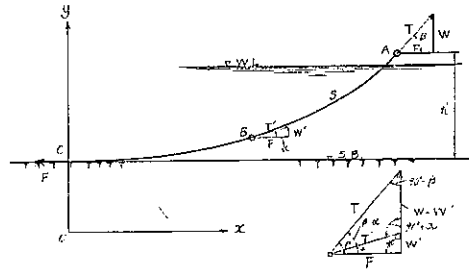
$$T' \cos \alpha = T / \cos \beta = \frac{W - W'}{\sin(\beta - \alpha)} \dots\dots (31)$$

$$T = w(a + h) = w \left( \frac{S^2 + h^2}{2h} \right) \dots\dots (32)$$

$$\cos \beta = (S^2 - h^2) / (S^2 + h^2) \dots\dots (33)$$

$$h = S \tan(\beta/2) \dots\dots (34)$$

図-17.



又図-18 に於いて船舶の移動距離を  $n$  とすれば

$$n = h + x - S$$

茲に

$$x = \frac{(S^2 - h^2)}{2h} \log \{(S+h)/(S-h)\}$$

$$n = \frac{S-h}{2h} \left\{ (S+h) \log \left( \frac{S+h}{S-h} \right) - 2h \right\} \dots\dots (35)$$

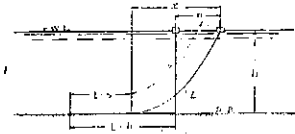
(35) 式を  $S$  に就て微分すれば

$$\frac{dn}{dS} = \frac{S}{h} \log \left( \frac{S+h}{S-h} \right) - 1 > 0$$

$$\frac{d^2n}{dS^2} = \frac{1}{h} \log \left( \frac{S+h}{S-h} \right) - \frac{2S}{S^2 - h^2}$$

此の2式より錨鎖  $S$  と移動  $n$  との関係が明らかになる、即ち  $dn/dS^2$  は多くの場合負であるから錨鎖が長くなるに従つて懸垂曲線は次第に扁平となり水平移動は非常に少くなる。

図-18.



#### 4. 沈錘及錨の把握力

一般に繫船浮標に使用せられる沈錘は鉛直方向に、錨は水平方向に牽引力が働らく。

(1) 沈錘の把握力に就て：沈錘の把握力は海底土の性質又は沈錘の型等に因つて異なるが沈錘の海水中の重量及底面に働く吸着力、土冠りの重量等で決定する。沈錘が海底面下へ  $h$  だけ没入してゐる場合を考ふれば図-19 にて

$\gamma$ ：土の単位容積の重量（海水中）

$\lambda_a$ ：主働土圧係數

$\rho$ ：土の内部摩擦角

$\lambda_v$ ：受働土圧係數

$k$ ：土の単位面積に働く凝集力

$\mu$ ：吸着係數 = 吸着力  $Q$  / 沈錘の重量  $P$

とすれば

$$\left. \begin{aligned} W &= \frac{1}{4} \pi \gamma h (d^2 + 2dh \tan \rho + \frac{3}{4} h^2 \tan^2 \rho) \\ S &= \frac{\pi}{12} \{ \gamma \lambda_a \tan \rho h^2 (3d + 2h \tan \rho) + 6kh(d + h \tan \rho) \} \end{aligned} \right\} \dots\dots (36) \text{ となり}$$

把握力は  $W + S + P(1 + \mu)$  で表はさる。

吸着係數  $\mu$  は牽引状態及海底土質によつて異なり、一般に 30~200% に変化する。

一般に吸着係數は、

粘土質の地盤に對しては

$$\mu = 1.00 \sim 2.00$$

砂交り粘土質の地盤に對しては

$$\mu = 0.60 \sim 1.00$$



砂質土の海底に対しては  $\mu=0.30\sim 0.50$

岩石及砂礫の海底に対しては  $\mu=0$

と考へられる。

(2) 錨の把握力に就て： 図-20 片爪錨で錨鉤 (fluke) は海底に啗入し、錨杆 (stock) は海底面に休止してゐる状態を示す。把握力は海底地質、錨の形状大き及種類等に依つて支配される。

1) 牽引力  $P$  が水平に働いた場合： 錨鉤の啗入部分には土の抵抗力が働き、その合力の作用点を  $A$  とし、 $A$  に於ける  $P$  を錨鉤の向心及切線分力  $R, S$  に分解する。抵抗土圧は錨鉤内面に直角に作用すると考へ、その合力  $V$  は水平と  $\theta$  の角をなし、錨鉤の内面は垂直に對して  $\varepsilon$  だけ傾斜してゐるものとする。茲に  $\varepsilon=\theta$  である。啗入に對する海底の抵抗力を  $U$  とすれば、海底の抵抗力は大体次式で與へられる。錨の受働土圧を受ける面積を  $a$ 、土との接觸面積を  $\alpha$ 、錨鉤の横斷面積を  $F$  とし  $f=\kappa \cdot F$  ( $\kappa$  は錨鉤の形状に依りて決まる係數)、 $\rho$ =摩擦角、 $\vartheta$ =滑り面の傾斜角、 $\gamma$ =海底土の單位容量の重量、 $k$ =凝集強度、主働及受働土圧係數を夫々  $\lambda_\alpha, \lambda_p$  とし特に  $\varphi=0, \varepsilon=0$  なる時を  $\lambda'_\alpha, \lambda'_p$  とする。

従つて

$$\left. \begin{aligned} V &= k \left\{ (1 + \operatorname{cosec} \vartheta) \alpha + \cot \vartheta a^2 \right\} + \gamma \left\{ \left( \frac{1}{2} \right) \lambda_p a d + \frac{1}{3} \lambda'_\alpha \tan \varphi \cot \vartheta a^2 \right\} \dots \dots \dots (37) \\ U &= k \alpha + \frac{1}{4} \gamma (\lambda'_\alpha + \lambda'_p) \tan \rho \alpha d + \lambda'_\alpha \gamma d \end{aligned} \right\}$$

茲に

$$\tan \vartheta = \frac{-\sin \rho + \operatorname{cose} \varepsilon}{\cos \rho - \sin \varepsilon}, \quad \varepsilon \neq \theta, \quad \rho = 0 \text{ の時は } \vartheta = \frac{\pi}{4} + \frac{\varepsilon}{2}$$

$$\left. \begin{aligned} V &= k \left\{ \left( 1 + \sqrt{\frac{2}{1 + \sin \varepsilon}} \right) \alpha + (1 - \sin \varepsilon) \operatorname{sec} \varepsilon d^2 \right\} + \frac{1}{2} \gamma \operatorname{sec} \varepsilon a d \dots \dots \dots (38) \\ U &= k \cdot \alpha + f \cdot \gamma \cdot d \end{aligned} \right\}$$

先づ安全に把握し走錨を防ぐには

$$\frac{R}{V} \leq 1, \quad S/U : R/V > 1 \dots \dots \dots (39)$$

なる事を要す。

錨鉤の面積  $\alpha$  を廣く、摩擦面  $\alpha$  を小さく、啗入深さ  $d$  を大にする、特に  $d$  は高次數であるから啗入を深くする事が最も肝要である。従つて錨は地質に最適の形体を決定すべきである。

1. 硬粘土質の海底は、抵抗力は大きいから、錨爪 (bill) の啗入が不良であるから摩擦面及附着面を小ならしめ錨臂 (arm) の半径  $r$  を短くして啗入し易からしむ。
2. 砂交り粘土質の海底は、同様錨爪が啗入し難いからその尖を出来るだけ鋭くし、引懸りを良くし摩擦面積  $\alpha$  を小さくする。
3. 軟粘土質の海底は、錨鉤を扁平状にして  $\alpha$  を廣く  $r$  を稍大きくする。
4. 泥粘土質の海底は、自重のみで潜入するから  $\alpha$  を廣く  $r$  を大きくする。

2): 牽引力  $P$  が水平と  $\delta$  なる角をなして働いた場合。

$B$  點に働く  $P$  の作用線が錨臂と交る點を  $C$ 、土圧の合力の作用点を  $A$ 、 $\overline{AC}=e$  とし  $C$  點が  $A$  點より上側に在る時を正とす。モーメント  $M=Pe$  が  $B$  點に働き、正のモーメントなら錨杆が海底を押し、負のモーメントなら

図-19.

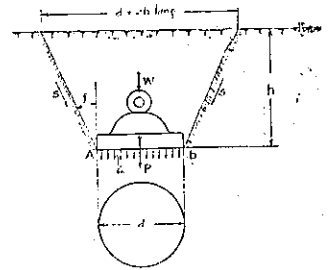
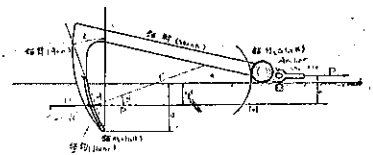


図-20.



B 點は上方へ持上り  $e=0 \therefore M=0$  となつて C 點が A 點と合する。抵抗土圧は  $R=P \cos(\theta-\delta)$ ,  $S=P \sin(\theta-\delta)$  にして  $\delta$  が大きくなれば  $S$  は小さく、嚙入力が弱くなる。従つて錨鎖を伸長すれば  $\delta$  は小さくなり把握力に對し好影響を與へる。

一般に錨杆は錨の自重の約 1/5 にして、錨臂は錨幹 (sbank) と稍、等しい。故に B 點に約  $(0.2+0.3) \times W$  の自重が加はるから、外力  $P$  と自重  $0.5W$  との合力  $Q$  が水平となす角  $\beta$  は

$$\tan \beta = \tan \delta - 0.5 \operatorname{sec} \delta \cdot \frac{W}{P} \quad \text{にて與へられる。}$$

AB の水平距離を  $L$  とすれば、 $L \sin \delta \leq \gamma(d+h')$ ,  $h'$  は海底よりアンカーシャックルの中心迄の高さ。

従つて  $0.5 \frac{W}{P} \leq \frac{\gamma d+h'}{L}$  の間は B 點は海底より持上る事なし。茲に  $\gamma$  は一般に 0.5 と見做し得られる。錨臂の重量を  $0.5W$  とし、錨鉤の A 點に作用する重量及外力の爲に生ずる海底の抵抗力は

$$0.7W - M/L = 0.7W - P_e/L \dots\dots\dots(40)$$

故に錨の把握に要する條件は自重を考へた場合、

$$\left. \begin{aligned} R+R' &= P \cos(\theta-\delta) - (0.7W - P_e/L) \sin \theta < V \\ S+S' &= P \sin(\theta-\delta) - (0.7W - P_e/L) \cos \theta > U \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(41)$$

なる事を要す。

自重のみで潜没してゐる時は把握力に對する  $\delta$  の影響は割合に少く、錨の設計宜敷を得るならばこの關係は益々薄くなる。斯かる地質では嚙入力よりも水平方向の抵抗力を増大せしむる事が必要なれば、Y 型片爪錨等は効果的である。概して粘土質の海底には錨鉤を大きく面積を廣く設計する、従つて兩爪錨等も有利である。砂質の海底には嚙入せしめん爲、錨爪を尖鋭にして自重のみで相當の引懸りを作らしめねばならぬから此の時は片爪錨を有利とする。

この外に錨の設計に當つては作業の利便、構造の簡單、姿勢の安定、衝撃に對する餘裕等も考慮する必要がある。

### 5. 錨鎖の長さが錨の把握力に及ぼす影響

錨鎖の長さが限定されてゐる場合には牽引力が増大するに従つて遂に曲下點が海底面以下に下がり、牽引力が水平と  $\delta$  をなして作用するに至る。故に把握力を最大に働かしむる爲には牽引力の増大に伴ひ錨は次第に嚙入してその深さを深め、遂に傾斜をなして錨に作用するに至るまでに充分喰ひ込まして置くだけの餘裕を錨鎖に與へること、換言すれば錨に對して  $\delta$  の出来るだけ小さい牽引力が働く様に錨鎖を長くすることが肝要である。軟弱地盤に於て錨が自重のみで海底に潜没する様な場合でも錨鎖を長くして置く必要がある。錨鎖が短い時は、錨鉤の嚙入を妨げると同時に錨幹の圧力を減じて把握力は非常に減少し、牽引力が大きくなつても把握力は増加しないから走錨の危険性が多い。

今錨鎖の延長  $s$ , 錨鎖の鉛直の高さを  $h$ , parameter を  $a$  とすれば  $\delta$  は

$$\tan \delta = \frac{1}{2} a \left\{ h \sqrt{1 + \frac{4a^2}{s^2 - h^2}} - s \right\} \dots\dots\dots(42)$$

この  $\delta$  に據つて錨の把握力は左右せらるゝ。

錨が一挺だけでは充分の把握力を期待することが出来ない時は 2 挺使用し、この錨を補助錨 (Backing anchor)

図-21.

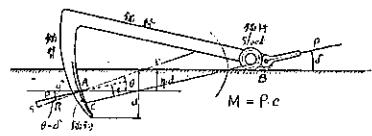
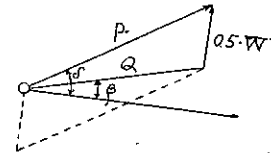


図-22.



と稱する。これらの錨は静力学的に 2 挺共同時に働くことは無く、必ず一方の錨が移動して後に 2 挺が同時に所要の条件のもとに把握状態に入る。一般に補助錨には鉛直分力が作用し、把握力に良好な影響を及ぼす。一挺の錨を大きくするより寧ろ地質の抵抗力が少い場所に小さい錨を 2 挺使用の方が遙かに効果的である。

(42) 式に於て  $a$  が大なる時根號内の第 1 項に比し第 2 項は非常に大きく、第 1 項を省略すれば

$$\tan \delta = \sqrt{\frac{h}{s^2 - h^2}} - \frac{s}{2a}$$

$\tan \delta$  と  $a$  との関係を調べる爲に上式を  $a$  で微分する。上式の  $h$  及  $s$  を定數値として、

$$\frac{d(\tan \delta)}{da} = + \frac{s}{2a^2}, \quad \frac{d^2(\tan \delta)}{da^2} = -s/a^3$$

又  $s$  と  $\tan \delta$  との関係を見るに  $\frac{d(\tan \delta)}{ds} = -\left(\frac{hs}{(s^2 - h^2)^{3/2}} + \frac{1}{2a}\right)$  故に  $a$  が増加すれば  $\tan \delta$  は大きくなるが、その増大の割合は  $a$  が小さい方が著しい。又錨鎖の長さ  $s$  が増加すれば  $\delta$  は減少する。今は等の関係を明らかにする爲に  $h=12\text{m}$ ,  $s=50\sim 150\text{m}$  の錨鎖に就て表-1 を作った。是は  $s$  の長さの錨鎖が  $\delta=0$  の条件を満足する範囲内の最大牽引力を  $P_0$  とし、任意の牽引力を  $P$  とし、此の比  $P:P_0$  と  $\delta$  との関係を  $s$  の種々の値に對してグラフにしたものである。例へば  $\delta$  を  $5^\circ$  とすれば  $s=50\text{m}$  なら  $P=1.5P_0$  であるが、 $s=100\text{m}$  なら  $P=3.7P_0$  となり、 $w$  を  $110\text{kg/m}$  に採れば  $s=50\text{m}$  の時  $P=1.5 \times 10.78=16\text{t}$ ,  $s=100\text{m}$  の時  $P=3.7 \times 45=166\text{t}$  であるから錨鎖の長さが 2 倍になると牽引力は約 10 倍となる。

次に牽引力が傾斜して働いたために把握力は  $1/3\sim 1/5$  に減じてしまふ事がある。一般に繫船浮標の錨では  $\delta$  が  $6^\circ$  位までならその把握力に及ぼす影響は僅少である。例へば錨幹の長さを  $4.5\text{m}$  とし  $e = \frac{d}{2} - 4.5 \sin \delta$  とすれば、 $e=0$  なる爲には  $d=0.9\text{m}$  の時  $\delta=6^\circ$ ,  $d=0.6\text{m}$  の時  $\delta=4^\circ$  となる。

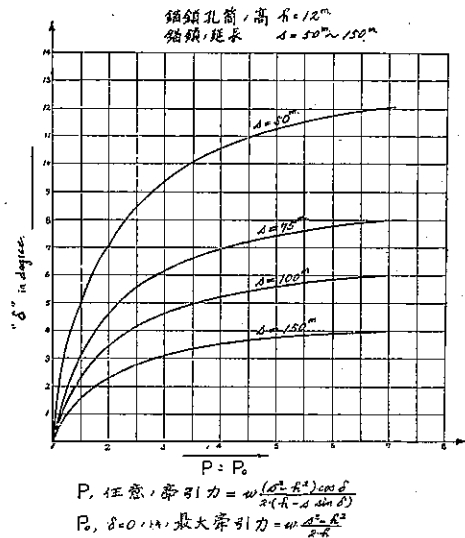
要するに牽引力の小さい間に錨鉤を嚙入せしめて置くことが肝要である。一概に論ずることは出来ないが、水深  $9\text{m}$  位では錨鎖の長さが少くとも  $50\text{m}$  あれば錨幹は海底面より持上がることはないが海底が硬質の時は更に長く  $100\text{m}$  以上を要することとなるであらう。牽引力が錨に鉛直分力を與へることを避けねばならぬと言ふ必要はないが、實際問題としては錨幹の持上がる状態が最も走錨の危険に在ると見做してよいと思ふ。

以上の考察を悉く靜的狀態に於て行つたが動的状態では牽引力が急激に 2~3 倍に擴大する事がある。従つて錨幹が海底を離れる様な状態にある時は牽引力の増減に従つて錨幹の上下運動の揚程距離は 2~3 倍に擴大され、錨の把握力は弛緩し軽減せられるに至る。故に錨鎖が長いとそれだけ動的牽引力の把握力に及ぼす影響は減少するから動的状態を考慮する場合は錨鎖の長さとして  $100\sim 150\text{m}$  あることが望ましい。

### 6. 繫船浮標の爬駐力

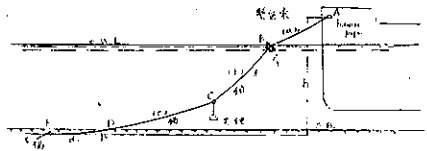
繫船浮標は通常 図-6 の如く海面に標示浮標を浮べ、之に連結する主鎖が海底まで降り下端に沈鍾を鎖住し、其處より海底に沿つて錨鎖を布設し、末端に時には途中にも錨を配置する。

表-1.



荒天時に錨鎖の形成する懸垂曲線は普通 2 部分即ち浮標又は錨鎖孔筒より沈鍾までの部分と、沈鍾より錨までの部分とに分つ事が出来る。尙此の外に海底が軟弱な港では錨鎖の海底下に泥を着た部分と、船舶より浮標へ懸けた繋留索の部分とを考へれば 4 部分に區別出来る。此等が或る条件のもとに 1 つの連続した線として連結されてゐる。今繋留索の部分をお、主鎖の部分をお、海底以上の錨鎖をお、海底下の部分をおと名付ける事にすれば、 $a, b$  の接合点では浮標の浮力が働き、 $b, c$  の接合点では沈鍾の重量が下方に働き、 $c, d$  の接合点に折點は無いが兩部分の單位長の重量が異つてゐる。斯くして海上で繋留船舶より受ける牽引力を海底まで傳へその力に對抗して錨が海底を把握するのである。

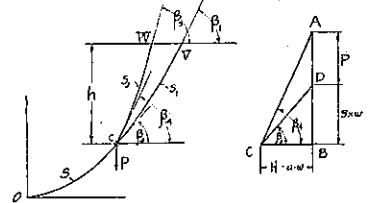
図-23.



繫船浮標の爬駐力とは荒天時に船舶の圧流を防ぎ、是を安全に維持する最大能力にして、繫船浮標は上述の如き状態に於て最大能力を發揮する。此の場合に浮標と沈鍾が爬駐力に及ぼす影響に就て述べてみよう。

今錨鎖の途中で鉛直力が働いた場合に懸垂曲線の形に如何なる影響を及ぼすか(図-24 参照)。錨鎖の中途の点  $C$  で鉛直下向へ  $P$  の力が働いた時曲線は  $WCO$  となり  $c$  點に折點が出来る。若し  $P$  が働かなければ  $OC$  の曲線をそのまま延長するとして  $W'$  と同じ高さを  $V$  とす。 $VCO$  は 1 つの連続した懸垂曲線である。 $C$  點に於ける接線及力の分布は  $\triangle ABC$  に於て  $AC$ ;  $WC$  曲線に沿へる錨鎖の張力;  $DC$ ;  $VC$  曲線に沿へる錨鎖の張力。

図-24.



$$\begin{aligned} AC \text{ の鉛直分力} & AB = P + Sw = w(p + S) \\ \text{水平分力} & CB = H = aw \\ DC \text{ の鉛直分力} & DB = Sw \end{aligned}$$

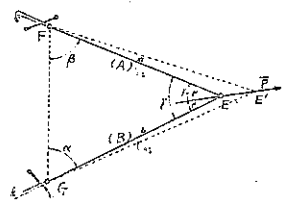
懸垂曲線の特性として  $AC, DC$  の水平分力は相等しい。又  $\delta = 0$  の時は  $DB = Sw$ 、若し  $\delta \neq 0$  の時は上の  $S$  の代りに  $S + a \tan \delta$  を挿入すれば良い。 $VC = S_1, WC = S_2$  とすれば

$$S_1 - S_2 = p + \sqrt{h^2 + S^2 + 2h\sqrt{a^2 + S^2}} - \sqrt{h^2 + (p + S)^2 + 2h\sqrt{a^2 + (p + S)^2}} \dots (43)$$

即ち之は沈鍾の重量又は浮標の浮力が錨鎖を假想的に延長又は短縮し、 $S$  の長さの錨鎖が同一状態のもとに  $(S + S_1 - S_2)$  の錨鎖となつてゐる事になる。沈鍾なら  $S_1 - S_2 > 0$  で假想的に長くなり、浮標なら逆に短くなる。この錨鎖の変化  $S_1 - S_2 = \Delta S$  は沈鍾の連接箇所即ち  $S$  に関係あり、主鎖が全錨鎖に比して長い程  $\Delta S$  は大きくなり、 $\frac{d\Delta S}{dS} < 0$  である。補助錨が把握力に有効なのは接続箇所が主鎖に近いこと、即ち  $S$  が短い事に起因する。

次に 2 方向の錨鎖及 2 挺錨が同時に牽引せられた場合、例へば双錨鎖或は 3 錨鎖繋留式。強大な牽引力を受けて沈鍾が海底を離れた際に錨鎖が 3 方向以上設置して居れば風の方向の如何に拘らず浮標の位置は決定せられ、繋留船舶も亦その動揺範囲が限定せられる。即ち錨鎖はその 2 方向のものが同時に牽引力の分力を負擔する。錨鎖の 3 方向を  $A, B, C$  とし、錨鎖の長さを  $a, b, c$ 、單位長の重量を  $w_a, w_b, w_c$  とす。其の中の 2 方向をとつて、 $A$  と  $B$  との接合點とを  $E$  とし、錨鎖が海底に形造る三角形を  $ETG$  とす。牽引力  $P$  を受けた時に  $E$  點は海底より離れ錨鎖が延びて  $E'$  點に移動する。 $\overline{EE'}$  は  $a, b$  に比し極めて少く内角の変化も頗る小であるから、 $\triangle ETG$  の儘に  $E$  點へ力が働くものと見做して差支へない。又主鎖も直線と見做し、之を  $A$  及  $B$  錨鎖の方向に投射して、 $A, B$  を前と同様にして取

図-25



扱へば良い。E点の高さhは各錨鎖に共通であるからこの条件を入れて假定を減じねばならぬ。今各部分に就て求め得た最大爬駐力を  $P_A, P_B, P_C$  とし是等を合成すれば爬駐力図が得られる。

次に繫船浮標の錨鎖の配置を決定する爲には、風圧図及船舶受圧面積より各方向の圧力図を求めそれを被覆する様に爬駐力図を引けば錨鎖の方向、長さ、錨の大きさ等決定し得る。例へば 図-28 の如し。

次に各節の部分的説明を纏めて繫船浮標の爬駐力としての総合的關係を述べる代りに例題を掲げたいと思ふ。

20 000 噸級船舶用繫船浮標。

20 000 噸級船舶の標準横断面積を 578  $m^2$ 、縦断面積を 2 400  $m^2$  (但し孰れも無積荷で水面上風圧を受ける面積) とす。

繫留船は風下へ流され暴風時には激波烈

風の爲動搖は烈しいが、本問題では靜的狀態に就て設計々算を行ふ事とする。

船は風の方より偏逸角  $\theta = 10^\circ$  で靜止し、風は 30 m/sec で一樣に吹いてゐるものとし、風圧計算に Eiffel の公式を使用すれば風圧 R は

$$R = (578 \times \cos 10^\circ + 2400 \times \sin 10^\circ) \times 0.078 \times 30^2 = 69.216 t \approx 70 t$$

この 70 t の水平牽引力に對して繫留船舶を維持し、錨をして把握せしむるに必要な錨、錨鎖の大きさ、形状、長さ等を求める。

先づ錨鎖の大きさに就て、船舶設備用錨鎖として英國の戰艦 20 000 t 級では鋼柱付鎖鎖  $\phi 70$  mm 位、商船では  $\phi 76$  mm が最大である。日本標準規格に據れば  $\phi 76$  mm の錨鎖は牽引荷重が 147.6 t、切断荷重は 221.4 t であるから  $R = 70 t$  に對して安全率は 2~3 あり、繫船浮標用には  $\phi 76$  mm 以上あれば良く、主鎖に  $\phi 89$  mm、地鎖に  $\phi 76$  mm を使用する事とする。次に錨は重量 8 t にして啞入良く把握力大なる様に設計し、海底は粘土質にして吸着力大きいとして 6 t の沈錘を用ふ。

主鎖  $\phi 89$  mm 又は  $\phi 3 \frac{1}{2}$ " 單位長の重さは

$$w_a = 175.00 \text{ kg/m (空氣中)}, \quad w = 152.25 \text{ kg/m (海水中) 日本標準規格}$$

地鎖  $\phi 76$  mm 又は  $\phi 3'$  單位長の重さは

$$w_a = 126.14 \text{ kg/m (空氣中)}, \quad w = 109.74 \text{ kg/m (海水中) 日本標準規格}$$

深さ h = (錨が海底下没入の深さ)

+ (海底面上 L.W.L. までの高さ)

+ (L.W.L. + 1.5 m の水面)。

$$\therefore = 1.5 + 9 + 1.5 = 12 \text{ m}$$

海底下で泥を被つた錨鎖の重量を

$$W = 170 \text{ kg/m とすれば}$$

parameter  $a_1$  は  $a_1 = R/W = 70\,000/170$

$$= 412 \text{ m}$$

図-26.

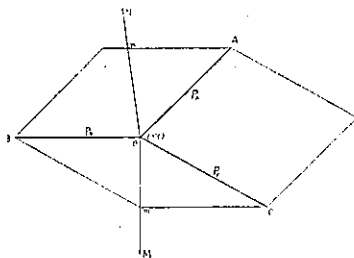


図-27.

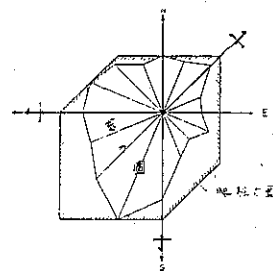
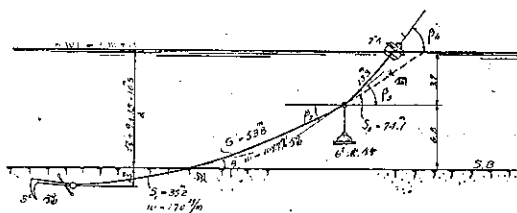


図-28.



この部分の錨鎖の長さ  $S_1$  は (3) 式より

$$S_1 = \sqrt{(a_1 + h)^2 - a_1^2} = \sqrt{(412 + 1.5)^2 - 412^2} = 35.2 \text{ m}$$

$$(7) \text{ 式より } \therefore \tan \beta_1 = \frac{S_1}{a_1} = \frac{35.2}{412} = 0.085485 \quad \therefore \beta_1 = 4^\circ 53'$$

又海底面上の錨鎖は  $w = 109.74 \text{ kg/m}$  にして、沈鍾を有しない時の假想長  $S_2$  を求む。

$$(28) \text{ 式に於て } a_2 = \frac{70000}{109.74} = 63.8 \text{ m}$$

$$\therefore B = \frac{S_2^2 - (10.5)^2}{2 \times 638} = \frac{S_2^2 - 110.25}{1276}, \quad d = S_2 \sin \beta_1 + \beta \cos \beta_1 \text{ を用ひ}$$

$$10.5 = S_2 \times 0.0851 + \frac{S_2^2}{1276} \times 0.9964 - \frac{110.25 \times 0.9964}{1276} \quad \therefore S_2 = 74.1 \text{ m}$$

故に全長は  $74.1 + 35.2 = 109.3 \text{ m}$  である。主鎖の長さは平時は鉛直に浮標より沈鍾まで垂れ下がり、水深に依つて定まるから豫め假定する。即ち之を  $50' = 15.2 \text{ m}$  とすれば錨鎖は  $94.1 \text{ m}$  となる。然るに沈鍾の重さに従つて所要長は短縮して良い事になるから先づ主鎖を  $89 \text{ m}$  と假定しておく。

沈鍾取付個所に於ける懸垂曲線の接線  $\beta_2$  は (25) 式より

$$\tan \beta_2 = \tan \beta_1 + \frac{S}{a_2} = 0.085485 + \frac{53.8}{638} = 0.1698$$

$$\therefore \beta_2 = 9^\circ 38'$$

海底面よりこの沈鍾の取付個所までの高さは  $a_2(\sec \beta_2 - \sec \beta_1)$  にて與へられる。即ち  $638 \text{ m} (1.0143 - 1.0036) = 6.80 \text{ m}$  従つて錨鎖を  $3.5 \text{ m}$  とすれば沈鍾は海底より離れてゐる。6t の沈鍾の海水中に於ける重量は  $P = 5.22 \text{ t}$  にしてこの重量の爲に錨鎖の短縮せらるゝ長さ  $\Delta S$  は (43) 式にて與へられる。

$$p = \frac{P}{w} = \frac{5220}{109.74} = 47.6 \text{ m}, \quad S = 89 \text{ m} \text{ ならば}$$

$$\begin{aligned} \Delta S &= 47.6 + \sqrt{3.7^2 + 2 \times 3.7 \times \sqrt{638^2 + 89^2} + 89^2} \\ &\quad - \sqrt{3.7^2 + 2 \times 3.7 \times \sqrt{638^2 + (47.6 + 89)^2} + (47.6 + 89)^2} \\ &= 47.6 + 112.7 - 153.3 = 7 \text{ m} \end{aligned}$$

故に主鎖は  $20.3 - 7 = 13.3 \text{ m}$  となる。然し今主鎖を  $\phi 76 \text{ mm}$  の代りに  $\phi 89 \text{ mm}$  とし長さを  $15.2 \text{ m}$  とすれば充分の安全率がある。地鎖は  $\phi 76 \text{ mm}$  にして長さは  $89 \text{ m}$  即ち約  $3\frac{1}{4}$  筋 (1 筋は  $90'$ ) である。

以上は假定通り牽引力は  $\delta = 0$  として計算してゐるが、今海底地質に適應した錨ならば、牽引力が傾斜しても充分の把握力を有し、 $\delta$  を  $2^\circ \sim 5^\circ$  まで許し得る時は地鎖を短くして良いことになる。今錨鎖の形を変へずして錨を  $\delta = 0 \sim 2^\circ$  の個所まで移動させて錨の位置が海底面下淺くなつても把握力に変化なきものとすれば (25) 式より

$$\tan \beta_1 = 0.085485 = \tan \delta + \frac{S_1}{a}, \quad \delta = 2^\circ \text{ として } S_1 = 20.8 \text{ m}$$

錨は海底下約  $1 \text{ m}$ 、地鎖の長さは約  $2\frac{3}{4}$  筋となり、 $\frac{1}{2}$  筋だけ短縮される。又  $\delta = 4^\circ$  とすれば  $S_1 = 6.4 \text{ m}$ 、錨は海底下約  $0.5 \text{ m}$ 、地鎖の長さは約  $2\frac{1}{4}$  筋となり、1 筋だけ短縮される。若し  $\delta = 5^\circ$  まで許し且つ錨が海底面に横はりて充分の把握力が存する場合には地鎖の長さは  $52.8 \text{ m}$  即ち 2 筋有れば良いことになる。

次に海面附近の懸垂線の角  $\beta$  を求めると、

$$\tan \beta_3 = \frac{1}{70}(70 + \tan 9^\circ 38' + 5.22) = 0.244382$$

$$\therefore \tan \beta_4 = \tan \beta_3 + \frac{13.3}{638} = 0.244382 + 0.020846 = 0.265228$$

$$\therefore \beta_4 = 14^\circ 51'$$

20 000 噸級船舶の錨鎖孔筒が水面よりの高さを大体 6.5 m とすれば、 $6.5 \operatorname{cosec} 14^\circ 51' = 25.4$  m 従つて繫留索は 30 m 以上伸ばしてなければ繫船能力の効果は減ずることになる。

次に  $\delta$  の増大に従つて錨の位置が移動するとせず、錨はそのまま海底面下 1.5 m に在るとして、 $\delta = 2^\circ$  の時と  $\delta = 0^\circ$  の時の錨鎖の長さを比較して見る。25 式より

$$\tan \beta_1 = \tan \delta + \frac{S_1}{a_1} \quad \sec \beta_1 = \sec \delta + \frac{h}{a_1}$$

$$\therefore S_1^2 + 2 \tan \delta a_1 S_1 - (h^2 + 2 \sec \delta a_1 h) = 0$$

$a_1 = 412$  m,  $h = 1.5$  m を上式に代入して  $S_1 = 23.6$  m,  $p_1 = 5^\circ 16'$  同様にして  $a_1 = 638$  m,  $h = 10.5$  m として上式より  $S_2 = 71.7$  m,  $\beta_2 = 9^\circ 38'$  錨鎖の全長は  $71.7 + 23.6 = 95.3$  m。今主鎖を 22.3 m, 地鎖を 73 m として  $\Delta S$  を求む。

$$h_1 = a_1 (\sec \beta_2 - \sec \beta_1) = 638 \text{ m 従つて } p = 47.6 \text{ m として } \Delta S = 9.63 \text{ m}$$

主鎖は  $22.3 - 9.63 = 12.67$  m を所要長とし、15.2 m だけ使用する。従つて兩者を比較するに地鎖が  $89 - 73 = 16$  m だけ短縮せられることになる。

上述の 3 部分よりなる繫船浮標は實際に起り得べき状態に最も近い状況のもとに最も危険なる場合を考慮せる所要最小能力の繫船浮標であると云へる。

## 7. 結 び

繫船浮標の爬駐力は錨の把握力と錨鎖の長さとの據つて決定せられると言つても大差なく、是等兩者は密接に関連して 1 つの抵抗力を構成する。錨が如何に大きくとも短い錨鎖では大なる爬駐力を期待する事は出来ない。水深 9 m の港では錨鎖を少くとも 50 m 以上を使用しなければならぬ。

Admiralty anchor は把握力大にして安定であるから繫船浮標用錨としては此の型式のものが最も適してゐる。錨の把握力は主として錨鉤の墜入力によつて決まり、従つて海底地質に応じた形状に造らねばならぬ。

錨鎖は半懸垂曲線を形造るが是と錨との關係及錨其のものゝ把握力に關する力学的考察は主として是を静力学的に試みて懸垂曲線を基礎とし、誘導展開を行つて諸算式を求めた譯である。

動力学方面の研究は未だ不充分であるから錨鎖の伸縮振動或は減衰振動の状態を攻究しなければ爬駐力に及ぼす危険を明確に知る事は出来ない。

然し取り敢へず、本研究の一端として静力学的考察を纏めた次第で、幸に諸賢の御高教御叱正を仰ぎ得られるならば幸甚の至りであります。

最後に本文を草するに當り懇篤なる御指導を賜ひし京大土木教室平野博士、九大造船教室上野助教授、及大阪市港灣部關係各位に對し深甚の謝意を表する次第であります。