

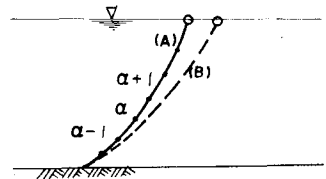
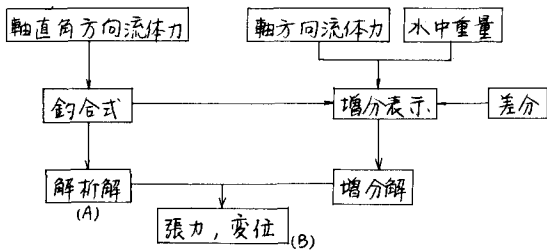
新日本製鉄(株) 正員 大室 豊盛
 新日本製鉄(株) 正員 〇宮崎 修
 (株)コルバック 正員 松田 英一

1. まえがき

潮流力を受ける係留ケーブルの静的解析は次の点において通常のケーブル解析と大きく異なり、その扱いを難しくしている。①非保存系 (nonconservative)。②自由端境界条件 (free end boundary conditions)。③はケーブルに働く外力はケーブルの釣り合い形が求まらねば決まらず、釣り合い形は外力が定まらねば決まらないことを意味し、複雑な非線形方程式を解かねばならない。④はケーブルの着着点や頂部での張力が一般には未知のため、それらを求めるためにくり返し計算を行わねばならないことを意味する。これらの点のため係留ケーブルの解析では一般にかなり多くの計算を必要とする。解析手法はいくつかあるが、我々は P. Y. Chang 等による、解析解、荷重増分法、差分法を組み合わせたユニークな手法を用いた。この手法の特徴は解析解を併用するために少ない計算時間で安定した解が得られる点にある。なお、現在の段階では1点係留を対象としているが、将来はより現実的な多点係留 (1つの浮体を複数体のケーブルで係留) へ進む予定であり、その場合潮流の向きによりケーブルは3次元の変位をするので2次元の解析とあわせて3次元の解析も行なった。

2. 解析手法の概略

係留ケーブルに作用する静的外力は流体力と水中重量であり、流体力はケーブルに直角方向と軸方向の成分に分けられる。通常軸直角方向の流体力は他に比べて大きく、ケーブルの基本形状はほぼこの力により決まると考えられる。そこでまず、軸直角方向流体力のみが作用したと考えると時の釣り合い形を解析解を用いて厳密に求め、その状態で外力増分と釣り合い形の変化との線形式を得る。次に外力増分として水中重量と軸方向流体力を加えて変位増分を求め、これを最初に求めた釣り合い形に加えればよい。以下に解析フローを示す。



(A) 軸直角方向流体力のみを考慮
 (B) 軸方向力、水中重量を考慮

基礎式は簡略のため2次元で示す。

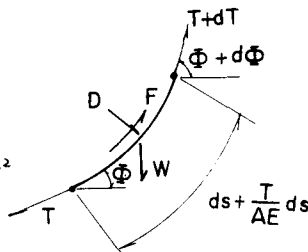
1) 軸直角方向流体力のみを考慮した解析解

$$T = T_0$$

$$s = \frac{T_0}{R} \frac{1}{1 + \frac{T_0}{EA}} (\cot \varphi_0 - \cot \varphi)$$

$$x = \frac{T_0}{R} \left(\frac{1}{\sin \varphi_0} - \frac{1}{\sin \varphi} \right) \quad R = \frac{w}{2g} C_D v^2$$

$$y = \frac{T_0}{R} \left(\ln \tan \frac{\varphi}{2} - \ln \tan \frac{\varphi_0}{2} \right)$$



D; 軸直角方向流体力
 F; 軸方向流体力
 (= fR と仮定)
 W; 水中重量

T; 張力 s; ケーブル長 φ ; ケーブルと水平面のなす角 x; 水平方向距離 y; 鉛直方向距離
 v; 潮流速 C_D ; 抗力係数 w; 海水単位重量 A; ケーブル断面積 E; ヤング率

2) 節点間 ($d-1 \rightarrow \alpha$) の増分表示

$$\begin{bmatrix} \delta T \\ \delta \bar{\Phi} \\ 1 \end{bmatrix}_{\alpha} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & A_3 \\ A_1 & A_2 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta T \\ \delta \bar{\Phi} \\ 1 \end{bmatrix}_{d-1}$$

$$\begin{aligned} A_1 &= -\left(\frac{R \sin \bar{\Phi}}{T}\right)_{d-1} R_{\alpha} & A_2 &= \left(\frac{C \cos \bar{\Phi}}{T}\right)_{d-1} R_{\alpha} \omega_{\alpha} \\ A_3 &= 1 + \left\{ \frac{R}{T} \sin 2\bar{\Phi} + \left(1 + \frac{T}{EA}\right) \right\}_{d-1} R_{\alpha} \\ &= \sin \bar{\Phi}_{d-1} \omega_{\alpha} R_{\alpha} - \left(1 + \frac{T}{EA}\right)_{d-1} f R_{\alpha} R_{\alpha} \end{aligned}$$

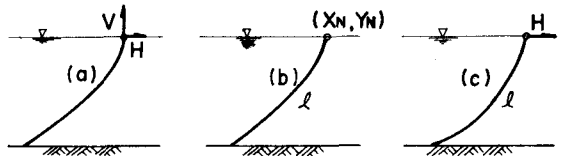
3) 境界条件の処理

上式を $X_{\alpha} = [A]_{d-1} X_{d-1}$ と書くと、始点(着底点, $\alpha = 0$)と終点(自由端, $\alpha = N$)との間の関係式は

$$X_N = [A]_{N-1} [A]_{N-2} \dots [A]_0 X_0 = [B] X_0$$

として求まる。この式を下図に示す3つの境界条件各々について解けばよい。なお、(b), (c) ではくり返し計算が必要である。

- (a) 自由端で水平力Hと鉛直力Vを与える。
- (b) ケーブル長 l と自由端の位置を与える。
- (c) ケーブル長 l と水平力Hを与える。



3. 計算結果とその考察

計算は2次元を境界条件(c)で、3次元を(b)で行なった。用いたワイヤケーブルの径は4cm、水中重量5.28 kg/m、長さ400m、水深200m、 $C_b = 1.0$ 、 $f = 0.002$ である。図-1と表-1では潮流の大きさと釣り合い形、張力の関係を示している。従来は、まず船に働く潮流力($H = 5 \text{ ton}$)を計算し、ケーブルについては潮流の影響は考慮せずカテナリー(図では $V = 0 \text{ M/sec}$ に対応)で計算されてきた。しかし、潮流速が大きくなる時、あるいはナイロンケーブル等の水中重量の小さいケーブルを用いる時、カテナリーでは大きな誤差を生じうることを右の図と表は示している。図-2と表-2ではX-Y平面内におかれたケーブルに対し、潮流速度は4m/secで一定とし、その向きを変えて作用させた時の張力の変化の様子を示している。 $\alpha = 0^\circ, 180^\circ$ 以外の時、ケーブルは3次元の変位を示す。表-2によると 90° の時張力は最大、 180° より $0^\circ, 135^\circ$ より 45° の方が張力は大きくなっている。

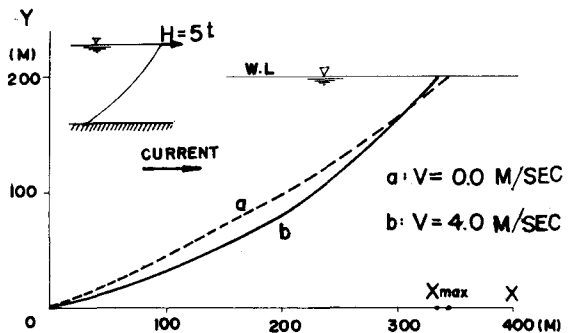


図-1

表-1 潮流の大きさと張力等の関係

V (m/sec)	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0
Tmax (ton)	6.3	6.4	6.7	7.4	8.5
Xmax (m)	345.0	344.0	342.0	340.2	336.5

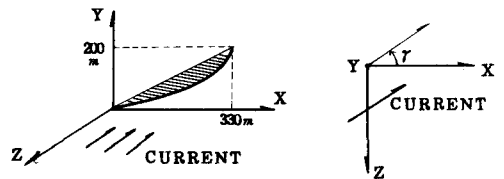


図-2

表-2 潮流の向きと張力の関係

γ (deg)	0	45	90	135	180
Tmax (ton)	6.8	10.8	14.7	8.4	5.6
Tmin (ton)	5.8	9.8	13.7	7.4	4.6

4. おまじ

潮流力を受ける係留ケーブルの静的解析手法と計算例の1部を紹介し、カテナリーとの比較などを行なったが、今後さらに別の手法とモデルについて検討を加えまとめてゆくつもりである。

[参考文献]

- (1) Beateaux, H.O. 「Design of Deep Sea Mooring Lines」 Marine Tech. Soc. J. (May/June, 1970)
- (2) P.Y. Chang and N.D. Pilkey 「The Analysis of Mooring Lines」 OTC - 1502