M　M-51-1

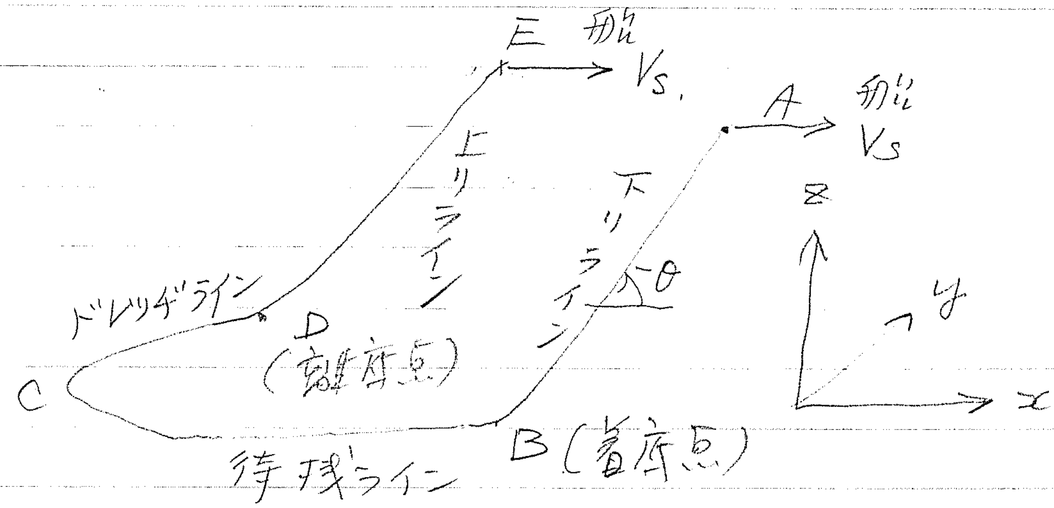
51.10.27(改)
昭和51年10月4日

ロープ形状の解析

別冊資料

昭和　　年　　月　　日

記号等



ρ ; 海水密度
W ; 単位長さ当りロープ重量（バケットの重量も平均して加える）
d ; ロープ径

$R_N = \frac{\rho d}{2} C_{DN} V_N^2$; 水抵抗はロープに垂直に働らくものとし抵抗係数を C_{DN} とする。

$R_T = \frac{\rho \pi d}{2} C_{DT} V_T^2$; ロープに平行な水抵抗

R_G ; ロープの海底における接地抵抗

$R_G = W(\mu + kV)$; 対地速度 V と反対方向に働くものとし k は定数, μ は静摩擦係数とする

R はすべて単位長さ当りの抵抗である。

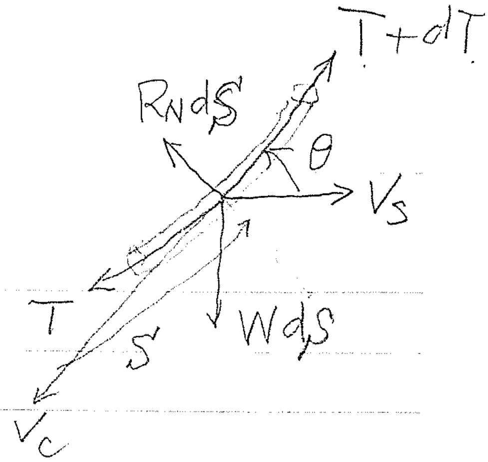
V_C ; ロープ速度
V_S ; 船速

昭和　　年　　月　　日

1. トリライン平衡方程式 I. $(V_c \geq V_s)$

ロープはA船の進行方向を含む垂直面内にある。

右図のように 角度 θ, ロープ長 S を定義し,
Tを張力とすると力の平衡から



$$T\frac{d\theta}{dS} = W\cos\theta - R_N, \quad (1.1)$$

$$\frac{dT}{dS} = W\sin\theta - R_T, \quad (1.2)$$

となるがここに

$$\left.\begin{aligned} R_N &= \left(\frac{\rho d}{2}\right) C_{DN} (V_s \sin\theta)^2, \\ R_T &= \frac{\rho\pi d}{2} C_{DT} (V_c - V_s\cos\theta)^2, \end{aligned}\right\} \quad (1.3)$$

今これらの量を次のように無次元化する。

$$\left.\begin{aligned} &V_s/V_c = \alpha, \quad (今は \ \alpha \leq 1) \\ &\frac{T}{(\frac{\rho}{2}d)\times d\times V_c^2} = t, \\ &\frac{W}{\frac{\rho}{2}d\cdot V_c^2} = w \\ &S/d = s. \end{aligned}\right\} \quad (1.4)$$

そうすると (1.1) と (1.2) は

$$t\frac{d\theta}{ds} = w\cos\theta - \alpha^2 C_{DN}\sin^2\theta, \quad (1.1')$$

$$\frac{dt}{ds} = w\sin\theta - \pi C_{DT}(1-\alpha\cos\theta)^2, \quad (1.2')$$

昭和　年　月　日

着底点では $T=0$ と考えられる故 (1.1)から
着底点の θ (θ_B) は

$$\frac{\cos\theta_B}{\sin^2\theta_B} = \frac{\alpha^2 C_{DN}}{w}, \qquad \cdots (1.5)$$

と与えられる。

しかし今の場合 $d\theta/ds=0$ とすれば(1.1)は それがsのすべての値で成立ち ロープ上で常に成立つ故

$$\theta = \theta_B \qquad (1.6)$$

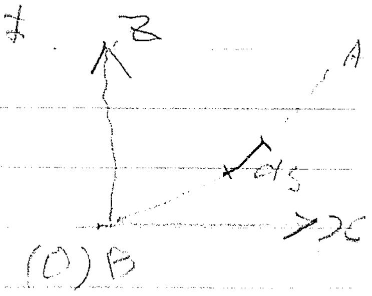
つまりロープが直線を成すのは一つの定常解である。

そうすると (1.2)より 着底点で $t=0$, $(s=0)$ とすれば

$$t = \left\{ w\sin\theta_B - \pi C_{DT}(1-\alpha\cos\theta_B)^2 \right\} s, \qquad (1.7)$$

を得る。

ロープの位置の (x, z) 座標は
原点をB点にとると



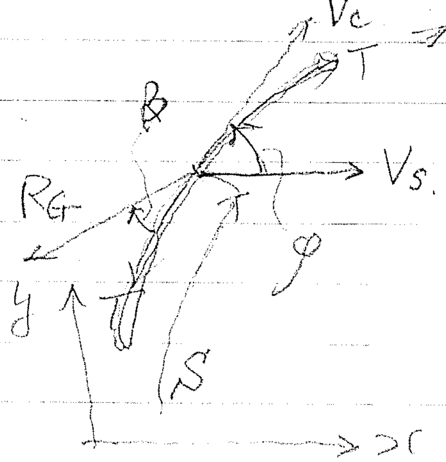
$$\left. \begin{aligned} dx &= (ds)\cos\theta, \\ dz &= (ds)\sin\theta, \end{aligned} \right\} (1.8)$$

なる故 今は

$$\left. \begin{aligned} x &= s\cos\theta_B \\ z &= s\sin\theta_B \end{aligned} \right\} (1.9)$$

となる。

2. 海岸部分の平衡方程式.



接地抵抗 R_G は V_c と V_s の合成速度に対して逆向きに働くものとし、

$$R_G = W(0.5 + 0.5V), \quad \cdots \quad (2.1)$$

但し $V=0$ の時は $0 \leq R_G \leq 0.5W$ の範囲にある。としよう。

力の平衡から

$$T\frac{d\varphi}{dS} = -R_G \sin\beta, \quad \cdots \quad (2.2)$$

$$\frac{dT}{dS} = R_G \cos\beta, \quad \cdots \quad (2.3)$$

であるが

$$\sin\beta = \frac{V_s \sin\varphi}{\sqrt{V_c^2 + V_s^2 + 2V_cV_s\cos\varphi}} = \frac{\alpha\sin\varphi}{\sqrt{1+\alpha^2+2\alpha\cos\varphi}},$$

$$\cos\beta = \frac{V_c + V_s\cos\varphi}{\sqrt{V_c^2 + V_s^2 + 2V_cV_s\cos\varphi}} = \frac{1+\alpha\cos\varphi}{\sqrt{1+\alpha^2+2\alpha\cos\varphi}}, \quad (2.4)$$

特に $\alpha=1$ ならば

$$\left.\begin{aligned} \sin\beta &= \sin\frac{\varphi}{2} \\ \cos\beta &= \cos\frac{\varphi}{2} \end{aligned}\right\} \quad \cdots \quad (2.4)$$

昭和 年 月 日

$$V = \sqrt{V_c^2 + V_s^2 + 2V_cV_s\cos\varphi} = V_c\sqrt{1+\alpha^2+2\alpha\cos\varphi}, \quad (2.5)$$

これらを(2.2), (2.3)に代入して前節同様無次元化すると：

$$\frac{R_G}{\frac{\rho}{2} d V_c^2} = \frac{w(0.5+0.5V)}{\frac{\rho}{2} d V_c^2} = w\left(0.5+0.5V_c\sqrt{1+\alpha^2+2\alpha\cos\varphi}\right)$$

であるから

$$t\frac{d\varphi}{ds} = -\frac{w}{2}\left(1+V_c\sqrt{1+\alpha^2+2\alpha\cos\varphi}\right)\frac{\alpha\sin\varphi}{\sqrt{1+2\alpha\cos\varphi+\alpha^2}}, \quad (2.2')$$

$$\frac{dt}{ds} = \frac{w}{2}\frac{\left(1+V_c\sqrt{1+2\alpha\cos\varphi+\alpha^2}\right)(1+\alpha\cos\varphi)}{\sqrt{1+2\alpha\cos\varphi+\alpha^2}}, \quad (2.3')$$

この2式を辺々割算すると

$$\frac{dt}{t} = -\left(\frac{1+\alpha\cos\varphi}{\alpha\sin\varphi}\right)d\varphi, \quad \cdots (2.6)$$

積分すると

$$\log t = -\frac{1}{\alpha}\log\left(\tan\frac{\varphi}{2}\right) - \log\sin\varphi + \mathrm{Const.}$$

$$t = \frac{t_M}{(\sin\varphi)\left(\tan\frac{\varphi}{2}\right)^{\frac{1}{\alpha}}}, \quad \cdots (2.7)$$

ここに t_M は $\varphi=\frac{\pi}{2}$ における t の値とする。

この t を (2.2') に代入すると次の微分方程式を得る。

$$\frac{2t_M \, d\varphi}{\alpha w \sin^2\varphi \left(\tan\frac{\varphi}{2}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \left(V_c + \frac{1}{\sqrt{1+2\alpha\cos\varphi+\alpha^2}}\right)} = -ds \quad ,(2.8)$$

今

$$\left.\begin{aligned} a(\varphi) &= \frac{2}{\alpha \sin^2\varphi \left(V_c + \frac{1}{\sqrt{1+2\alpha\cos\varphi+\alpha^2}}\right)\left(\tan\frac{\varphi}{2}\right)^{\frac{1}{\alpha}}} \\ \int_{\varphi}^{\frac{\pi}{2}} a(\varphi)\,d\varphi &= A(\varphi) \end{aligned}\right\} \quad (2.9)$$

とおこう。（$A(\varphi)$は$a(\varphi)$を数値積分して容易に求まる）
(2.8)を積分すると

$$\frac{t_M}{2w} A(\varphi) = s - \mathrm{Const.} \qquad (2.10)$$

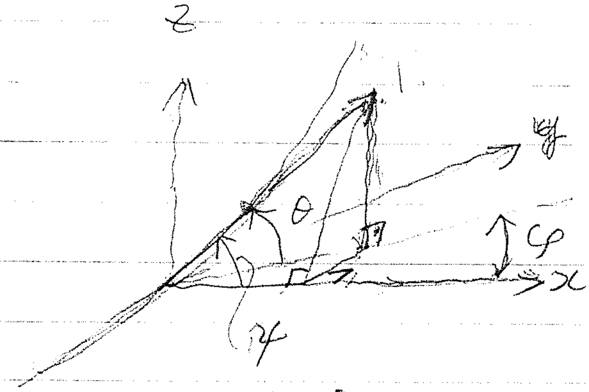
となる。

(2.7)でtはφの関数として与えられ(2.10)でφはsの関数として与えられたのでこれでtはsの関数として現わされ，問題は解けた。
後は境界条件からt_Mと(2.10)式の定数を定めればよい。

3. 上りラインの平衡方程式

(下りラインで $V_c < V_s$ の場合と同じになる)

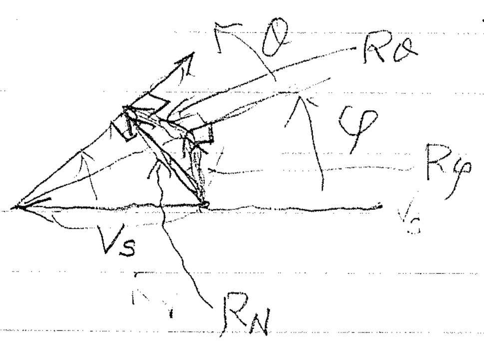
これらの場合は共にロープは水平面に対する傾角θと共に x-z面に対する傾角φを有する所が大変面倒な点である。



θとφを図のように定義すると3垂線の定理により図の角度ψは

$$\left.\begin{aligned}\cos\psi &= \cos\theta\cos\varphi, \\ \sin\psi &= \sqrt{\sin^2\theta + \cos^2\theta\sin^2\varphi},\end{aligned}\right\} \quad (3.1)$$

水抵抗はロープに垂直に単位長当りR_Nだけ働くとするので、それをロープの微小要素dsを含む鉛直面内の成分R_θとそれに垂直な成分R_φに分けると再び3垂線の定理より

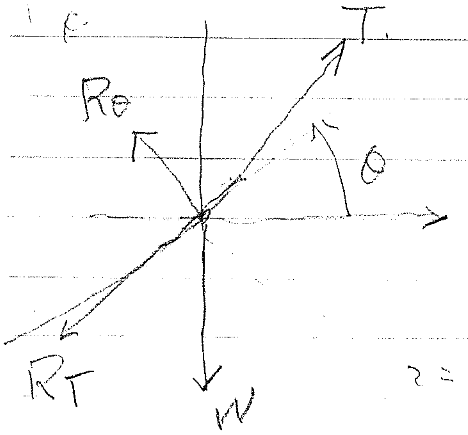


$$R_N = \frac{\rho d}{2} V_s^2 \sin^2\psi\, C_{DN}, \quad (3.2)$$

$$\left.\begin{aligned}R_\varphi &= \frac{R_N}{\sin\psi}\sin\varphi = \frac{\rho d}{2} C_{DN} V_s^2 \sin\psi \sin\varphi, \\ R_\theta &= \frac{R_N}{\sin\psi}\cos\varphi\sin\theta = \frac{\rho d}{2} C_{DN} V_s^2 \frac{\cos\varphi\sin\theta}{\sin\psi},\end{aligned}\right\} \quad (3.3)$$

ロープの微小要素を含む鉛直面内での力の平衡を考えると、

昭和　年　月　日



$$T\frac{d\theta}{ds} = W\cos\theta - R_\theta \ , \qquad (3.4)$$

$$\frac{dT}{ds} = W\sin\theta + R_T \ , \qquad (3.5)$$

ここに　$$R_T = \frac{\pi\rho d}{2} C_{DT}(V_c + V_s\cos\psi)^2 , \qquad (3.6)$$

ここで下りラインで $V_c < V_s$ の場合は

$$R_T = \frac{\pi\rho d}{2} C_{DT}(V_s\cos\psi - V_c)^2 , \qquad (3.7)$$

とおけばよい。

次にこの鉛直面に垂直な方向については

$$T\cos\theta\frac{d\varphi}{ds} = -R_\varphi \ , \qquad (3.8)$$

前同様無次元化すると

$$t\frac{d\theta}{ds} = w\cos\theta - \alpha^2 C_{DN}\frac{\cos\varphi\sin\theta\sin\psi}{\cancel{\sin\psi}} \qquad (3.4')$$

$$\frac{dt}{ds} = w\sin\theta + \pi C_{DT}(\pm 1 + \alpha\cos\psi)^2 , \qquad (3.5')$$

但し複号の内 + は上りライン、− は下りラインで $\alpha > 1$ の場合。

$$t\cos\theta\frac{d\varphi}{ds} = -\alpha^2 C_{DN}\sin\psi\sin\varphi \ , \qquad (3.8')$$

となり ψ は (3.1) で θ, φ の関数である。

前節同様にしてまず(3.4')と(3.5')から

$$\frac{dt}{t} = \left[\frac{w\sin\theta + \pi C_{DT}(\pm 1 + \alpha\cos\psi)^2}{w\cos\theta - \alpha^2 C_{DN}\dfrac{\cos\varphi\sin\theta\sin\psi}{\cancel{\sin\psi}}}\right] d\theta, \qquad (3.9)$$

(3.4)と(3.8')から

$$\cos\theta\frac{d\varphi}{d\theta} = -\frac{\alpha^2 C_{DN}\sin\psi\sin\varphi}{w\cos\theta - \alpha^2 C_{DN}\dfrac{\cos\varphi\sin\theta\sin\psi}{\cancel{\sin\psi}}}, \qquad (3.10)$$

(3.5')から

$$ds = \frac{dt}{w\sin\theta + \pi C_{DT}(\pm 1 + \alpha\cos\psi)^2}, \qquad (3.11)$$

等を得る。
まず(3.10)を解いてθとφの関係を求め、それを(3.9), (3.11)に代入しておく。
次に(3.9)を解いてθとtの関係を求めそれを(3.11)に代入してsとθの関係を求めれば問題は解ける。
所でφは小さいと考えられるので(3.10)は近似的に

$$-\frac{d\varphi}{\varphi} \fallingdotseq \frac{\alpha^2 C_{DN}\sin\theta\, d\theta}{\cos\theta(w\cos\theta - \alpha^2 C_{DN}\sin^2\theta)}, \qquad (3.12)$$

これから

$$\left.\begin{aligned} f(\theta) &= \frac{\alpha^2 C_{DN}\sin\theta}{\cos\theta(w\cos\theta - \alpha^2 C_{DN}\sin^2\theta)}, \\ F(\theta) &= \int_0^\theta f(\theta)\,d\theta, \end{aligned}\right\} \qquad (3.13)$$

とおくと

$$\left.\begin{aligned} \log\left(\frac{1}{\varphi}\right) &= \bar{H}(\theta) + \mathrm{Const}, \\ \varphi &= C e^{-\bar{H}(\theta)}, \quad C\,;\ \text{定数}. \end{aligned}\right\} \cdots\cdots (3.14)$$

なる解を得る。

φが小さいとすると同じ近似で (3.9) は

$$\frac{dt}{t} \fallingdotseq \left[\frac{w\sin\theta + \pi C_{DT}(\pm 1 + \alpha\cos\theta)^2}{w\cos\theta - \alpha^2 C_{DN}\sin^2\theta}\right] d\theta, \quad (3.15)$$

となるので

$$\left.\begin{aligned} G(\theta) &= \int_0^\theta g(\theta)\,d\theta, \\ g(\theta) &= \frac{w\sin\theta + \pi C_{DT}(\pm 1 + \alpha\cos\theta)^2}{w\cos\theta - \alpha^2 C_{DN}\sin^2\theta}, \end{aligned}\right\} (3.16)$$

とおくと（θとφの関係は (3.14) で与えられるのでφを省略しなくてもよい）

$$\left.\begin{aligned} \log t &= G(\theta) + \mathrm{Const}. \\ t &= D e^{G(\theta)}, \quad D\,;\ \text{定数} \end{aligned}\right\} \quad (3.17)$$

なる解を得　これを (3.11) に代入して

$$\int_0^\theta \frac{e^{G(\theta)} g(\theta)\,d\theta}{w\sin\theta + \pi C_{DT}(\pm 1 + \alpha\cos\theta)} = \frac{H}{w}(\theta), \quad (3.18)$$

とおくと

$$S = \frac{D}{w} H(\theta) + E, \quad E\,;\ \text{定数}, \quad (3.19)$$

となる。

昭和　　年　　月　　日

(x, y, z) 座標については

$$\left.\begin{aligned} dx &= ds\cos\theta\cos\varphi \\ dy &= ds\cos\theta\sin\varphi \\ dz &= ds\sin\theta. \end{aligned}\right\} \quad (3.20)$$

なる関係を積分すればよい。

昭和　　年　　月　　日

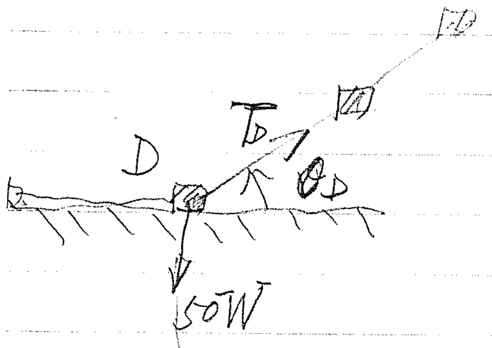
4. 初期条件について

2,3節の解はすべて $\theta, \varphi = 0$ の近くで対数的に無限大となるので初期条件つまり着座点B、離座点D、反曲点C等における条件の設定には注意を要する。

つまり $\theta = 0$, $\varphi = 0$ or π 等としたのでは解が一定まらない。

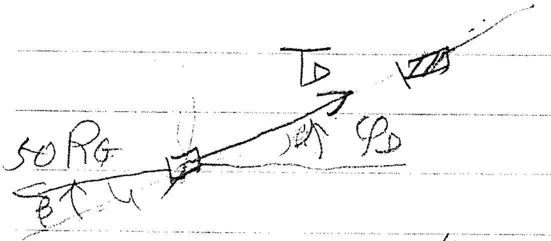
そこでこのような附近では実際の状況、つまりバケットが50m毎にある事を考えて次のように決める事にしよう。

i) 離座点 D



離座点Dではバケットの重量(50W)が $T_D \sin\theta_D$ と丁度釣合っている所と定義出来よう。

$$T_D \sin\theta_D = 50W, \quad \cdots (4.1)$$



この時横方向には

$$T_D \cos\theta_D \underbrace{\sin\varphi_D}_{\sin(\varphi_B-\theta)} \leq 50R_G, \quad (4.2)$$

但し $R_G = W(0.5 + 0.5V)$.

つまりバケットの横方向抗力(摩擦)は T_D のその方向の分力より大きくて横方向に滑らない事が必要である。

しかしこの条件は φ_D が小さければ大ていみたされるであろうから後でcheckすればよく

昭和　　年　　月　　日

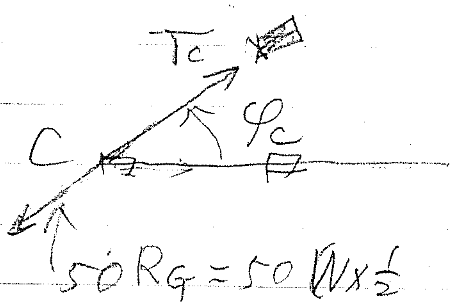
主として離床点条件としては(41)を考えればよかろう。
この条件は T_D が与えられれば θ_D を与え θ_D を与えれば T_D を与える。
しかし離床点では T_D が与えられると考えられるのでこれは上りラインのD点における θ_D を与える式と考えてよい。
この時海床部分の T_D は φ_D と関係があるので T_D が決まれば φ_D も与えられる事になる。

ii) 着床点 B
$V_C \geq V_S$ の場合は §1 にのべたように $T_B=0$ で下りラインは直線で問題はない。
$V_S > V_C$ の場合は前項と同様

$$T_B \sin\theta_B = S_0 W \quad , \cdots (43)$$

で(42)同様の条件が必要であろう。
前項の場合と違う点は今はむしろ θ_B をあらかじめ与えて上式を満足するように T_B を決めればよい。
(θ_B を決めると下りラインの形状が決まる)
この T_B について任意の φ_B を与えれば海床部分の形状が決まり、必要なドレッヂライン長さの端をDとすれば T_D, φ_D が決まるからそこで(41)により θ_D が決まりそれから上りラインの形状が求められる。

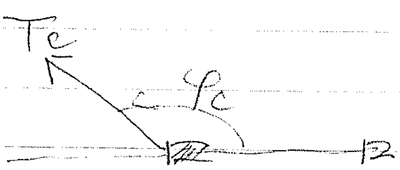
iii) 反曲点 C （$V_c \geq V_s$ の場合）



$V_c \geq V_s$ の場合は待機ラインは海底に静止している所を曳き出される事になる故左図の状況でバケットが動くのは

$$T_c = 50R_G = 25W \text{ ,} \cdots (4.4)$$

となって φ_c には関係しないと考えられる。
（ここでバケットの静摩擦係数は0.5ととってある）
つまり φ_c は任意に選ぶ事が出来る。
φ_c の選び方でドレッヂラインの形状は定まる。



なお以上は $\varphi_c < 90°$ の場合ですし $\varphi_c > 90°$ ならば $T_c \cos\varphi_c$ は待機ライン全体の摩擦抗力まで大きくなりうるであろうからバケットの動く条件はむしろ

$$T_c \sin\varphi_c = 50R_G \text{ ,} \cdots \quad (4.5)$$

となるであろうがこの場合はあまり起り得そうにないので以下考えない事にする。

尚 $V_c < V_s$ の場合はこのような条件を考える必要はなく §2 で ii) の条件から問題なく海底部分の形状は求まる。

昭和　年　月　日

5. 計算

実際の計算は階差方程式を数値的に解く方が実際的で手取り速いので附録Bの計算式により実行した。

計算の条件は

i) $V_c = 1 m/s$

$V_s = 1 m/s$, $2 m/s$,　$\alpha = V_s/V_c = 1$ and 2.

ii) $C_{DN} = 1.2$,　$C_{DT} = 0.01$,　$d = .243 m$

$R_G = W(0.5 + 0.5V)$

ii) W ＝ 下りライン,（待機ライン）　10 kg/m

上りライン　30 kg/m

ドレッヂライン　20 kg/m

iii) ドレッヂラインは 500 m とする。

iv) 水深は 6,000 m とするが, 上り, 下りライン共海底から上方に計算して行くので, その他の水深例えば 3,000 m が必要な時は計算結果の表中 z = 3,000 m の所のデータを見ればよい。

v) 上り, 下りラインに特に下りラインは曲線に近くその水平に対する傾斜角は附録Aに示す。

vi) 計算結果は計算一覧表と共に別紙図表に示す。

又表の最後に両船の相対位置等の綜合表を附しておいた。

なお $V_c = V_s$ で待機ラインのある場合は記してないがこの場合下りラインは直線と考えてよいので待機ラインの長さが決まれば同様に計算出来る。

附録A. ロープの平衡傾斜角

昭和　　年　　月　　日

上り,下りライン　特に下りラインは殆ど直線になる。
その傾斜角 θ は

$$w \cos\theta = C_{DN} \sin^2\theta$$

で与えられる。
その値は

i) $\alpha = \frac{V_c}{V_s} = 1$, $V_c = 1\,m/s$ の場合

下りラインは　$w/C_{DN} = .6564$, $\theta = 43.6°$

上りラインは　$w/C_{DN} = 1.9692$, $\theta = 65.2°$.

ii) $\alpha = 2$, $V_c = 1\,m/s$.

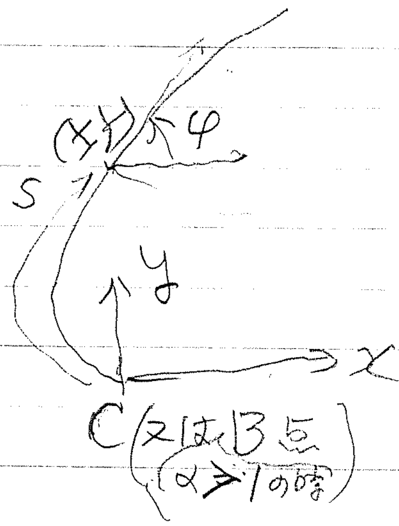
下りラインは　$w/C_{DN} = .1641$, $\theta = 22.9°$

上りラインは　$w/C_{DN} = .4923$, $\theta = 38.4°$

附録B. 計算式

昭和　　年　　月　　日

1. 海底部（ドレッヂ・ライン）.



$$\begin{cases} \Delta\varphi = -\dfrac{\alpha W \Delta S}{2T}\sin\varphi\left(V_c + \dfrac{1}{\sqrt{1+2\alpha\cos\varphi+\alpha^2}}\right), \\ \Delta T = \dfrac{W\Delta S}{2}(1+\alpha\cos\varphi)\left(V_c + \dfrac{1}{\sqrt{1+2\alpha\cos\varphi+\alpha^2}}\right), \\ \Delta X = (\Delta S)\cos\varphi. \\ \Delta Y = (\Delta S)\sin\varphi. \end{cases}$$

$$S_N = N\Delta S$$

$$X_N = \sum_1^{N-1}\Delta X\ ,\ Y = \sum_1^{N-1}\Delta Y.$$

$$T_N = \sum\Delta T.$$

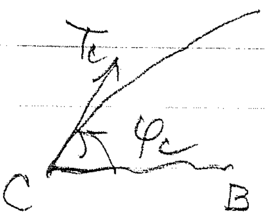
○ 計算は $S_N = 500$(m) 迄実行する.

○ タイプ・アウト $S_N, T_N, X_N, Y_N, \varphi_N$,（各Nについて）

○ 定数 $W = 20$ (kg/m), $\Delta S = 50$ (m), $V_c = 1$ (m/s)

昭和　　年　　月　　日

○初期条件 $\alpha=1$

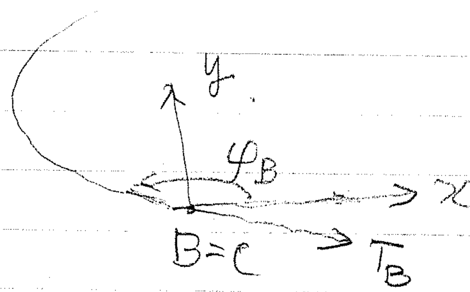


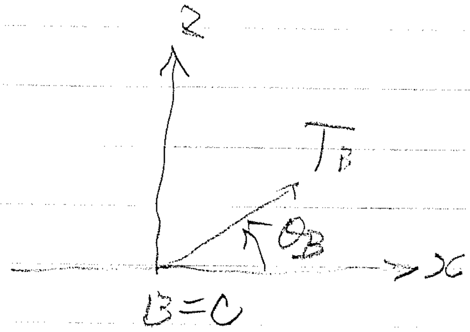
$X=0,\ Y=0,\ S=0$

$T_c = 250(kg)$

$\varphi_c = 5°, 10°(10°)100°$

○初期条件 $\alpha=2$





$X=0,\ Y=0,\ S=0$ において

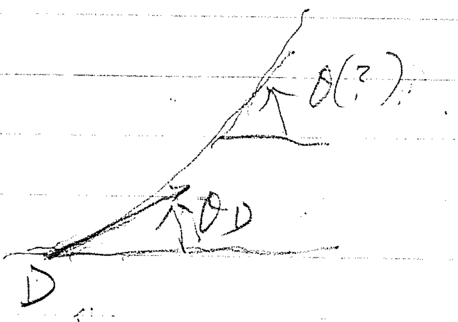
$\varphi_c=\varphi_B = 150°, 160, 170, 175°$

[$\theta_B = 10\ (10°)\ 60°$]

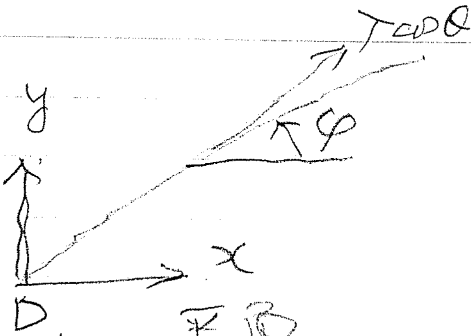
$T_c=T_B = 500/\sin\theta_B$

昭和　年　月　日

2、ヒリ ライン.



側面



平面

$$\Delta\theta = \frac{W\Delta S}{T}\left(\cos\theta - \frac{\alpha^2 C_{DN}}{w}\cos\varphi \sin\theta \sin\psi\right),$$

$$\Delta\varphi = -\frac{W\Delta S}{T}\left(\frac{\alpha^2 C_{DN}}{w}\right)\frac{\sin\psi \sin\varphi}{\cos\theta},$$

$$\sin\psi = \sqrt{\sin^2\theta + \cos^2\theta \sin^2\varphi},$$

$$\Delta T = W\Delta S\left[\sin\theta + \frac{\pi C_{DT}}{w}(1+\alpha\cos\theta\cos\varphi)^2\right],$$

$$\Delta X = \Delta S \cos\theta \cos\varphi$$
$$\Delta Y = \Delta S \cos\theta \sin\varphi$$
$$\Delta Z = \Delta S \sin\theta.$$

$S=\sum\Delta S$ $X=\sum\Delta X$, $Y=\sum\Delta Y$, $Z=\sum\Delta Z$

○計算は $Z \geqq 6{,}000$ (m) となる迄行う。

○タイプアウトは $S=500$(m) 毎に
$S, X, Y, Z, \theta, \varphi, T$

B-4.

昭和　　年　　月　　日

○定数　W = 30 (kg/m)

α	$\alpha^2 C_{DN}/2W$	$\pi C_{DT}/2W$
1	0.5078	0.0133
2	2.0312	0.0133

○初期条件

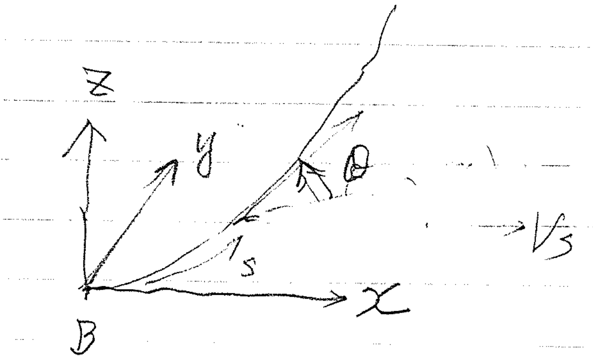
ドレッヂライン最終点の $T_D(T_{10})$, $\varphi_D(\varphi_{10})$

および θ_D は次式による

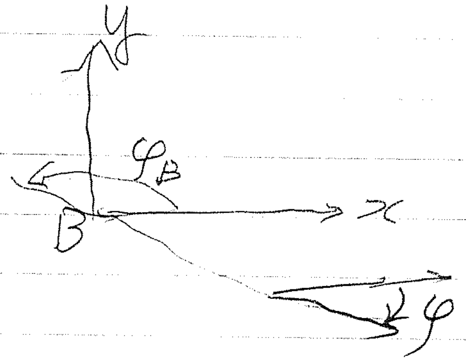
$$\theta_D = \sin^{-1}\left(\frac{1500}{T_D}\right)$$

昭和　　年　　月　　日

3. 下りライン



Sを上方に向けてとると殆ど上りラインと同じであるがφは逆になるので平面で図のように定義しておく



§2. の φ_B とは次の関係

$$\varphi = \pi - \varphi_B$$

$$\Delta\theta = \frac{W\Delta S}{T}\left(\cos\theta - \frac{\alpha^2 C_{DN}}{2W}\cos\varphi\sin\theta\sin\psi\right),$$

$$\Delta\varphi = -\frac{W\Delta S}{T}\left(\frac{\alpha^2 C_{DN}}{2W}\right)\frac{\sin\varphi\sin\psi}{\cos\theta},$$

$$\sin\psi = \sqrt{\sin^2\theta + \cos^2\theta\sin^2\varphi},$$

$$\Delta T = W\Delta S\left[\sin\theta + \frac{\pi C_{DT}}{2W}\left(-1 + \alpha\cos\theta\cos\varphi\right)^2\right],$$

$$\Delta X = \Delta S\cos\theta\cos\varphi$$

$$\Delta Y = \Delta S\cos\theta\sin\varphi$$

$$\Delta Z = \Delta S\sin\theta$$

昭和　年　月　日

○ 計算は $z \leq 6000$ m まで

○ タイプアウトは $S = 500$ m 毎.

○ 定数　$W = 10$ (kg/m)

α	$\alpha^2 C_N / w$	$\pi C_{DT} / w$
1	1.5235	.0399
2	6.0940	.0399

○ 初期条件　($\alpha = 1$)

($\varphi_B = 180°$)　$\varphi = 0°$ のみでより。

φは恒等的に0となる。

$\theta_B = 43.6°$ ならば解は直線.

$$\left.\begin{aligned} \theta_B &= 15° (15°)\ 90° \\ T_B &= \frac{500}{\sin\theta_B} \quad // \end{aligned}\right]$$

○ 初期条件　($\alpha = 2$)

頁 B-2 の条件と同じ

但し ここの φ_B の代りに

$\varphi = 30°, 20, 10, 5$　とおく //

/　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　X　A-1

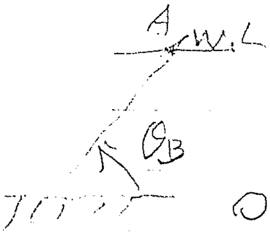
$\alpha = 1 \quad V_c = 1 m/s = V_S$

昭和　　年　　月　　日

i) 下りライン　　$w = .4877 \quad \rho = 1045, \quad C_{DN} = 1.2.$

○直線

○俯角 θ_B　　$\dfrac{\cos\theta_B}{\sin^2\theta_B} = \dfrac{C_{DN}}{w} = \dfrac{1}{.6564}$



$\cos\theta_B = .7243$, $\underline{\theta_B = 43.6^\circ}$ //　　$\sin\theta_B = .6895$

2757

○張力　　$T = SW\left[\sin\theta_B - \pi \dfrac{C_{DT}}{w}(1-\cos\theta_B)^2\right]$

$W = 10\ kg/m$

$= SW[.6895 - .03988 \times .07601]$

.0030

$= .6865\,SW = 6.$

$T = 6.865\,S\ (kg),$

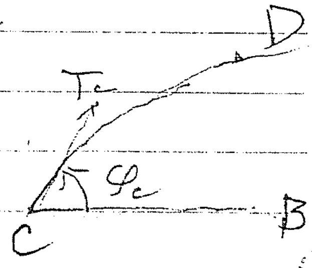
深さ6000mでは　　$S_A = \dfrac{6000}{\sin\theta_B} = \dfrac{6,000}{.6895} = \underline{8702.0}\ (m)$

よって $T_A = 59,739.0\ (kg).$

ii) 待機ライン

何れでもよい。

iii) ドレッヂ・ライン　$(w = 1.5754)$



○初期条件

$T_c = 250 (kg)$

$\varphi_c =$	10°	20°	30°	60°	90°
$T_M =$	3.798	15.08	33.49	125	250

← $T_M = 500 \sin^2\left(\dfrac{\varphi_c}{2}\right)$

○張力 $\dfrac{T}{T_M} = \dfrac{1}{\sin\varphi \tan\frac{\varphi}{2}} = \dfrac{1}{2\sin^2\frac{\varphi}{2}},$

$\alpha = 1$

昭和　　年　　月　　日

○ 長さ $S = 500\,m$ とする.

$$S = \frac{T_M}{W}\left[A(\varphi) - A(\varphi_c)\right] , \quad (W = 20\,kg/m \text{ とする})$$

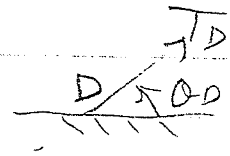
$$A(\varphi) = \frac{-\pi}{180}\int_{90^\circ}^{\varphi} a(\varphi^\circ)\, d\varphi^\circ$$

$$a(\varphi) = \frac{2}{\sin^2\varphi \tan\frac{\varphi}{2}\left(1 + \frac{1}{2\cos\frac{\varphi}{2}}\right)} = \frac{1}{\sin^3\frac{\varphi}{2}\left(1+2\cos\frac{\varphi}{2}\right)}$$

$S=500\,m$ とおいて φ_D を求め，又 張力の式 より T_D を求める。

例) ヒリライン　($W = 30\,kg/m$, $\nu = 2.3631$)

○ 初期条件 上の T_D に対して θ_D を求める



$$\sin\theta_D = \frac{50W}{T_D} = \frac{1500}{T_D}$$

○ 張力は $\frac{T}{T_D} = e^{G(\theta) - G(\theta_D)}$

○ 長さ (Dから測って)

$$S = \frac{T_D}{W} e^{-G(\theta_D)}\left\{H(\theta) - H(\theta_D)\right\}$$

○ 偏角 φ

$$\varphi = \varphi_D\, e^{-\bar{H}(\theta) + \bar{H}(\theta_D)}$$

○ $C_{DN}/\cancel{W} = .5078$, $\frac{\pi C_{DT}}{\nu} = \frac{0.31416}{2.3631} = .01329$

$x^2 + 2 \times .98464\, x - 1 = 0$

$\boxed{\alpha \simeq 1}$

$x = \dfrac{-.9846 \pm \sqrt{.9846^2 + 1}}{} = .4188 = \cos\theta$

$\underline{1.4034}$
$.9846$

A-3

昭和　　年　　月　　日

○ $\bar{H}(\theta^\circ) = \dfrac{\pi}{180}\displaystyle\int_0^{\theta_i^\circ} f(\theta)\, d\theta^\circ$, $e^{-\bar{H}(\theta)}$

$f(\theta) = \dfrac{\alpha^2 (C_{DN}/w)}{\cos\theta\left(\cos\theta - \frac{\alpha^2 C_{DN}}{w}\sin^2\theta\right)} \doteq \dfrac{.5078}{\cos\theta(\cos\theta - .5078\sin^2\theta)}$

$\theta = 65.24^\circ$ で 0

$\dfrac{x}{1-x^2} = .5078$

$\boxed{0 < \theta \ll 65.24^\circ}$

○ $G(\theta) = \dfrac{\pi}{180}\displaystyle\int_0^{\theta^\circ} g(\theta)\, d\theta^\circ$, $e^{G(\theta)}$

$g(\theta) = \dfrac{\sin\theta + \frac{\pi C_{DT}}{w}(1+\cos\theta)^2}{\cos\theta - \frac{C_{DN}}{w}\sin^2\theta} \doteq \dfrac{\sin\theta + .01329(1+\cos\theta)^2}{\cos\theta - .5078\sin^2\theta}$,

○ $H(\theta) = \dfrac{\pi}{180}\displaystyle\int_0^{\theta_0} \dfrac{e^{G(\theta)}\, d\theta^\circ}{\cos\theta - \frac{C_{DN}}{w}\sin^2\theta}$, =

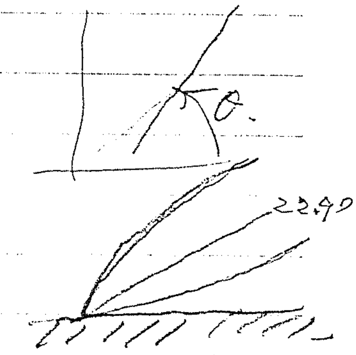
$\uparrow .5078$

○

$\alpha = 2$, ($V_c = 1m/s$, $V_s = 2m/s$)

昭和　　年　　月　　日

i) 下りラインの最大θ又は最小θ



$$\frac{\cos\theta}{\sin^2\theta} = \frac{\alpha^2 C_{DN}}{w} = \frac{4.8}{.7877} = \frac{1}{.16410}$$

$$x^2 + (2\times.08205)x - 1 = 0$$

$$\cos\theta = x = -.08205 \pm \sqrt{1+.00673} = .92131$$

1.003360
.08205

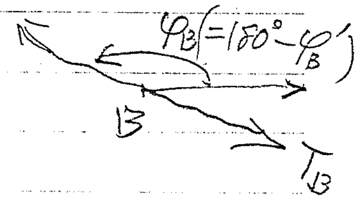
$\theta \fallingdotseq 22.88^\circ$

$\theta > 22.9^\circ$　$0 < \theta < 22.9^\circ$ であるが

この後の方はラインが長くなるので考えない事とする。

ii) 海底部

・着底点の条件



φ_B' をなるべく小さく　$\varphi_B' = 5^\circ, 10^\circ$ とする。

又 θ_B = 30, 45, 60, 90° とする。

θ_B	30	45	60	90°
T_B	1,000	707.1	577.4	500

$$\left(T_B = \frac{50W}{\sin\theta_B} = \frac{500}{\sin\theta_B}\right)$$

・張力

$$\frac{T}{T_M} = \frac{1}{\sin\varphi\sqrt{\tan\frac{\varphi}{2}}}$$

$$T_M = T_B \sin\varphi_B \sqrt{\tan\frac{\varphi_B}{2}} =$$

T/T_M	φ_B	θ_B	30	45	60	90
		T_B	1,000	707.1	577.4	500
=2.3975	175°	T_M	417.10	294.93	240.83	208.55
1.70336	170°	T_M	587.1	415.12	339.0	293.54

・長さ

$$S = \frac{T_M}{W}\left[A(\varphi) - A(\varphi_B)\right], \quad (W = 20\ kg/m)$$

$S_D - S(90^\circ) = 500\ m$　となるように φ_D を決める。

(φ

昭和　　年　　月　　日

$$A(\varphi) = -\frac{\pi}{180}\int_{90°}^{\varphi} a(\varphi)\,d\varphi°$$

$$a(\varphi) = \frac{1}{\sin^2\varphi\sqrt{\tan\frac{\varphi}{2}}\left(1+\frac{1}{\sqrt{5+4\cos\varphi}}\right)},$$

iii) 上りライン　　$(w = 30\ kg/m)$

○初期条件：上の φ_D, T_D に対し

$$\sin\theta_D = \frac{50w}{T_D} = \frac{1{,}500}{T_D}$$

で θ_D を決める。

○ $$f(\theta) = \frac{4C_{DN}\sin\theta}{\cos\theta(w\cos\theta - 4C_{DN}\sin^2\theta)} = \frac{2.0312\sin\theta}{\cos\theta(\cos\theta - 2.0312\sin^2\theta)}$$

$$\frac{\alpha^2 C_{DN}}{w} = \frac{48}{2.3631} = 2.0312 = \frac{1}{.492312}$$

この分母が0となる θ は　$x^2 + (2\times.246156)x - 1 = 0$

$\cos\theta = x = -.2462 \pm\sqrt{1+(.2461)^2} = .7837$,

$\theta = 38.40°$.

すべての θ は　$\theta > 38.4°$ or $\theta < 38.4°$

○ $$F(\theta) = \frac{\pi}{180}\int_0^{\theta°} f(\theta)\,d\theta°, \quad e^{-F(\theta)}$$

○ $$g(\theta) = \frac{\sin\theta + \frac{\pi C_{DT}}{w}(1+\alpha\cos\theta)^2}{\cos\theta - \frac{\alpha^2 C_{DN}}{w}\sin^2\theta} = \frac{\sin\theta + 0.01329(1+2\cos\theta)^2}{\cos\theta - 2.0312\sin^2\theta}$$

○ $$G(\theta) = \frac{\pi}{180}\int_0^{\theta°} g(\theta)\,d\theta°$$

○ $$H(\theta) = \frac{\pi}{180}\int_0^{\theta}\frac{e^{G(\theta)}\,d\theta°}{\cos\theta - 2.0312\sin^2\theta}, //$$

○ 張力　$\dfrac{T}{T_D} = e^{G(\theta) - G(\theta_D)}$

○ 長さ（Dから測る）

$$S = \frac{T_D}{W} e^{-G(\theta_D)} \{ H(\theta) - H(\theta_D) \},$$

$W = 30$ kg/m.

○ 偏角

$$\varphi = \varphi_D e^{-F(\theta) + F(\theta_D)}$$

iv) 下りライン
着底点の条件（ii項）から逆に上方船迄計算する。

○ $$f(\theta) = \frac{\frac{4C_{DN}}{w} \sin\theta}{\cos\theta\left(\cos\theta - \frac{\alpha^2 C_{DN}}{w} \sin^2\theta\right)} = \frac{6.0937 \sin\theta}{\cos\theta\left(\cos\theta - 6.0937 \sin^2\theta\right)}$$

i) 項にのべたように今は $\theta > 22.4°$ と考える。

○ $$F(\theta) = \frac{\pi}{180} \int_{90°}^{\theta°} f(\theta)\, d\theta°$$

○ $$g(\theta) = \frac{\sin\theta + .03988(2\cos\theta - 1)^2}{\cos\theta - 6.0937 \sin^2\theta},$$

○ $$G(\theta) = \frac{\pi}{180} \int_{90°}^{\theta} g(\theta)\, d\theta$$

○ $$H(\theta) = \frac{\pi}{180} \int_{90°}^{\theta} \frac{e^{G(\theta)}\, d\theta}{\cos\theta - 6.0937 \sin^2\theta},$$

昭和　年　月　日

○ 張力 $\dfrac{T}{T_B} = e^{G(\theta) - G(\theta_B)}$

○ 長さ（BからAの方に測る）.

$$S = \frac{T_B}{W} e^{-G(\theta_B)} \{ H(\theta_B) - H(\theta) \}$$

（$W = 10$ kg/m）

○ 偏角 $\varphi' = 180° - \varphi$.

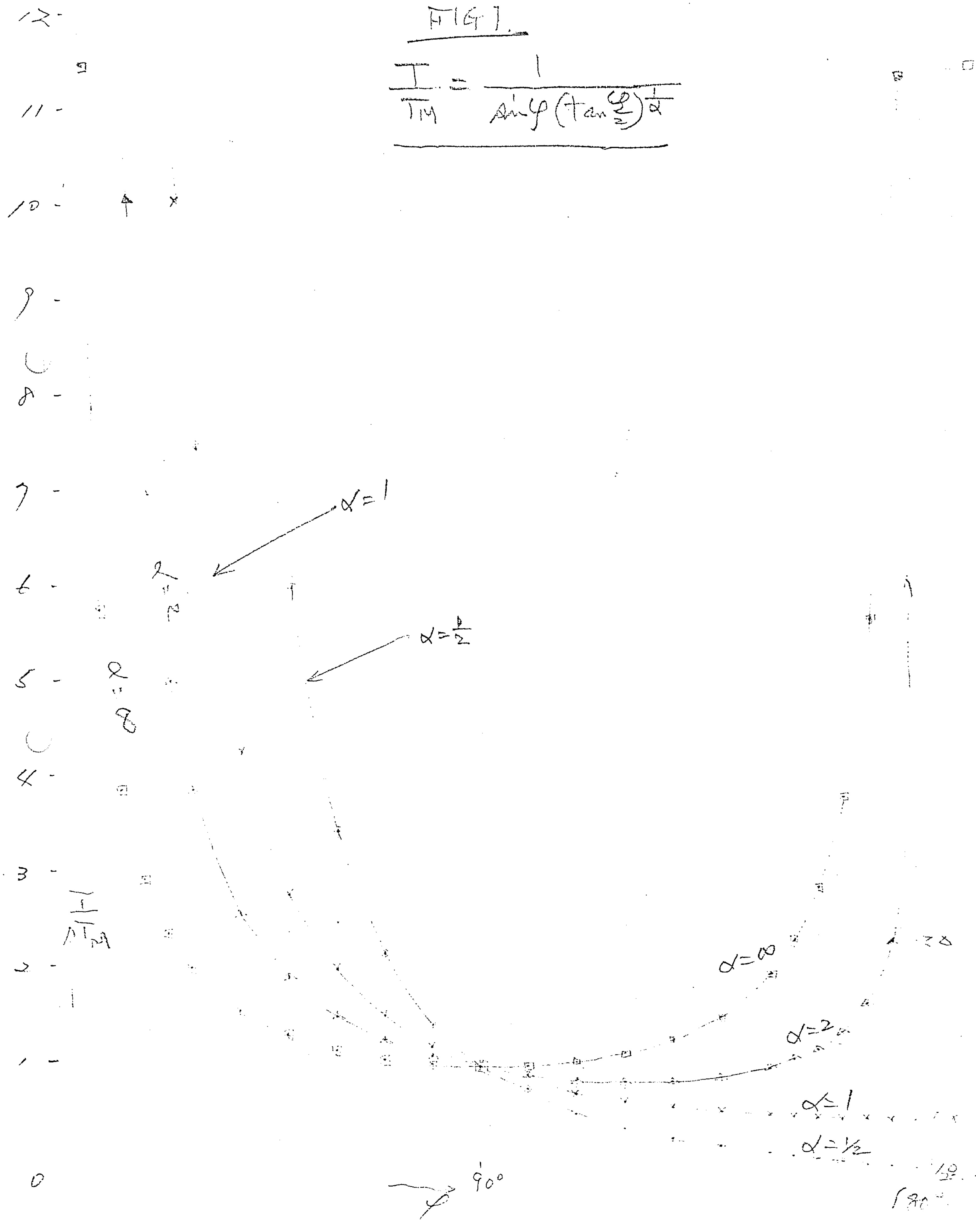
$$\varphi' = \varphi'_B e^{-F(\theta) + F(\theta_B)}$$

TABLE 1 $T/T_M = \frac{t}{t_M} = \frac{1}{\sin\varphi \left(\tan\frac{\varphi}{2}\right)^{\frac{1}{\alpha}}}$

φ deg. \ α	$\frac{1}{2}$	1	2	$\infty\left(\frac{1}{\sin\varphi}\right)$
0	∞	∞	∞	∞
5	6019.2	262.80	54.9112	11.4737
10	752.34	65.8224	19.4699	5.7588
15	222.93	29.3483	10.6485	3.8637
20	94.036	16.5814	6.9629	2.9238
25	48.146	10.6735	5.0255	2.3662
30	27.856	7.4641	3.8637	2.0000
40	11.744	4.2743	2.5787	1.5557
50	6.0033	2.7994	1.9116	1.3054
60	3.4641	2	1.5197	1.1547
70	2.1705	1.5198	1.2718	1.0642
80	1.4421	1.2101	1.1085	1.0154
90	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
100	.7804	.93007	.93013	1.0154
110	.5218	.74516	.89051	1.0642
120	.3849	.66667	.87738	1.1547
130	.2839	.60872	.89142	1.3054
140	.2061	.56623	.93855	1.5557
150	.1436	.53590	1.03528	2.0000
155	.1163	.52457	1.11411	2.3662
160	.0909	.51554	1.22774	2.9238
165	.0670	.50867	1.40190	3.8637
170	.0441	.50383	1.70336	5.7588
175	.0219	.5010	2.3975	11.4737
180°	0	.5000	∞	∞

FIG 1.

$$\frac{I}{I_M} = \frac{1}{\sin\varphi\left(\tan\frac{\varphi}{2}\right)^{\frac{1}{\alpha}}}$$



⊗ A-1

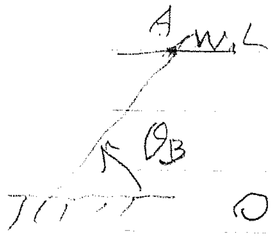
$\alpha = 1 \quad V_C = 1\,\mathrm{m/s} = V_S$

昭和　　年　　月　　日

i) 下りライン　$w = .7877 \quad \rho = 1045, \quad C_{DN} = 1.2$

○直線

○俯角 θ_B　$\dfrac{\cos\theta_B}{\sin^2\theta_B} = \dfrac{C_{DN}}{w} = \dfrac{1}{.6564}$



$\cos\theta_B = .7243 \rightarrow \underline{\theta_B = 43.6°}$ //　$\sin\theta_B = .6895$

.2757

○張力　$T = SW\left[\sin\theta_B - \pi \dfrac{C_{DT}}{w}(1-\cos\theta_B)^2\right]$

$W = 10\,\mathrm{Kg/m}$

$= SW[.6895 - .03988 \times .07601]$

.0030

$= .6865\,SW = 6.$

$T = 6.865\,S$ (Kg),

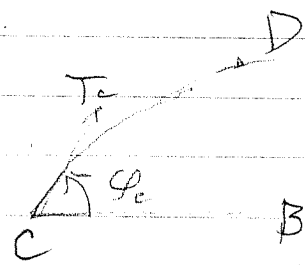
深度6000mでは　$S_A = \dfrac{6000}{\sin\theta_B} = \dfrac{6,000}{.6895} = \underline{8702.0}$ (m)

よって $T_A = 59,739.0$ (Kg).

ii) 待機ライン

何れでもよい。

iii) ドレッヂ・ライン　($w = 1.5754$)



○初期条件

$T_C = 250$ (kg)

$\varphi_c =$	10°,	20°,	30°,	60°,	90°
$T_M =$	3.798	15.08	33.49	125	250

← $T_M = 500 \sin^2\left(\dfrac{\varphi_c}{2}\right)$

○張力 $\dfrac{T}{T_M} = \dfrac{1}{\sin\varphi \tan\frac{\varphi}{2}} = \dfrac{1}{2\sin^2\frac{\varphi}{2}}$, A-2

$\alpha = 1$

昭和　　年　　月　　日

○ 長さ $S = 500m$ とする。

$$S = \frac{T_M}{W}\left[A(\varphi) - A(\varphi_c)\right] , \quad (W = 20\,kg/m \text{ とする})$$

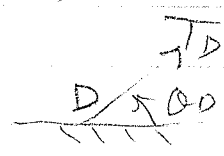
$$A(\varphi) = \frac{-\pi}{180}\int_{90^\circ}^{\varphi} a(\varphi^\circ)\, d\varphi^\circ$$

$$a(\varphi) = \frac{2}{\sin^2\varphi \tan\frac{\varphi}{2}\left(1 + \frac{1}{2\cos^2\frac{\varphi}{2}}\right)} = \frac{1}{\sin^3\frac{\varphi}{2}\left(1+2\cos^2\frac{\varphi}{2}\right)}$$

$S=500m$ とおいて φ_D を求め、又張力の式より T_D を求める。

(例) ヒリライン　($W = 30\,kg/m$, $w = 2.3631$)

○ 初期条件 上の T_D に対して θ_D を求める



$$\sin\theta_D = \frac{50W}{T_D} = \frac{1500}{T_D}$$

○ 張力は $$\frac{T}{T_D} = e^{G(\theta) - G(\theta_D)}$$

○ 長さ (Dから測って)

$$S = \frac{T_D}{W} e^{-G(\theta_D)}\left\{H(\theta) - H(\theta_D)\right\}$$

○ 偏角 φ

$$\varphi = \varphi_D\, e^{-\bar{H}(\theta) + \bar{H}(\theta_D)}$$

○ $C_{DN}/w = .5078$, $\frac{\pi C_{DT}}{w} = \frac{.031416}{2.3631} = .01329$

$x^2 + 2\times.98464\,x - 1 = 0$

Ⓧ

A-3

$\boxed{\alpha \simeq 1}$ $\quad x = -.9846 + \sqrt{.9846^2+1} = .4188 = \underline{\cos\theta}$

1.4034

$.9846$

昭和　　年　　月　　日

○ $\bar{H}(\theta^\circ) = \frac{\pi}{180}\int_0^{\theta_i^\circ} f(\theta)\,d\theta^\circ \quad , \quad e^{-\bar{H}(\theta)}$

$$f(\theta) = \frac{\alpha^2 (C_{DN}/w)}{\cos\theta\left(\cos\theta - \frac{\alpha^2 C_{DN}}{w}\sin^2\theta\right)} \doteqdot \frac{.5078}{\cos\theta(\cos\theta - .5078\sin^2\theta)}$$

$\theta = 65.24^\circ$ で 0

$\frac{x}{1-x^2} = .5078$

$\boxed{0 < \theta \ll 65.24^\circ}$

○ $G(\theta) = \frac{\pi}{180}\int_0^{\theta^\circ} g(\theta)\,d\theta^\circ \quad , \quad e^{G(\theta)}$

$$g(\theta) = \frac{\sin\theta + \frac{\pi C_{DT}}{w}(1+\cos\theta)^2}{\cos\theta - \frac{C_{DN}}{w}\sin^2\theta} = \frac{\sin\theta + .01329(1+\cos\theta)^2}{\cos\theta - .5078\sin^2\theta}$$

○ $H(\theta) = \frac{\pi}{180}\int_0^{\theta_0} \frac{e^{G(\theta)}\,d\theta^\circ}{\cos\theta - \frac{C_{DN}}{w}\sin^2\theta} =$

$.5078$

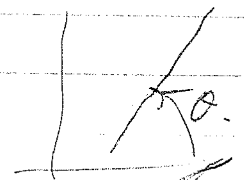
○

A-K

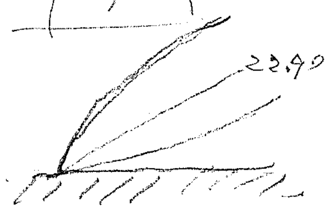
$\alpha = 2$, ($V_c = 1\,m/s$, $V_s = 2\,m/s$)

昭和　　年　　月　　日

i) 下りラインの最大θ又は最小θ



$$\frac{\cos\theta}{\sin^2\theta} = \frac{\alpha^2 C_{DN}}{w} = \frac{4.8}{.7877} = \frac{1}{.16410}$$



$$x^2 + (2 \times .08205)x - 1 = 0$$

$$\cos\theta = x = -.08205 \pm \sqrt{1 + .00673} = .92131,$$

1.003360
.08205

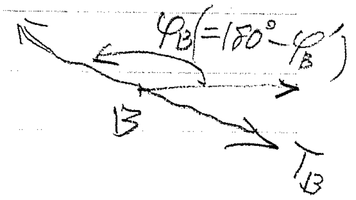
$$\theta \fallingdotseq 22.88^\circ$$

$\theta > 22.9^\circ$ or $\theta < 22.9^\circ$ であり

この後の方はラインが長くなるので考えない事とする.

ii) 海底部

○ 着底点の条件.



φ_B' をなるべく小さく $\varphi_B' = 5^\circ, 10^\circ$ とする.

又 $\theta_B = 30, 45, 60, 90^\circ$ とする.

$\theta_B = 30$	45	60	90°
$T_B = 1{,}000$	707.1	577.4	500

$$\left(T_B = \frac{50W}{\sin\theta_B} = \frac{500}{\sin\theta_B}\right)$$

○ 張力

$$\frac{T}{T_M} = \frac{1}{\sin\varphi\sqrt{\tan\frac{\varphi}{2}}}$$

$$T_M = T_B \sin\varphi_B \sqrt{\tan\frac{\varphi_B}{2}} =$$

	φ_B	θ_B	30	45	60	90
		T_B	1,000	707.1	577.4	500
$T/T_M = 2.3975$	175°	T_M	417.10	294.93	240.83	208.55
1.70336	170°	T_M	587.1	415.12	339.0	293.54

○ 長さ

$$S = \frac{T_M}{W}\left[A(\varphi) - A(\varphi_B)\right], \quad (W = 20\,kg/m)$$

$S_D - S(90^\circ) = 500\,m$ となるように φ_D を決める.
(φ

昭和　年　月　日

$$A(\varphi) = -\frac{\pi}{180}\int_{90^\circ}^{\varphi} a(\varphi)\,d\varphi^\circ$$

$$a(\varphi) = \frac{1}{\sin^2\varphi\sqrt{\tan\frac{\varphi}{2}}\left(1+\frac{1}{\sqrt{5+4\cos\varphi}}\right)},$$

iii) 上りライン　$(W = 30\ kg/m)$
○初期条件　上の φ_D, T_D に対し

$$\sin\theta_D = \frac{50W}{T_D} = \frac{1,500}{T_D}$$

で θ_D を決める。

○ $$f(\theta) = \frac{4C_{DN}\sin\theta}{\cos\theta(w\cos\theta - 4C_{DN}\sin^2\theta)} = \frac{2.0312\sin\theta}{\cos\theta(\cos\theta - 2.0312\sin^2\theta)}$$

$$\frac{\alpha^2 C_{DN}}{w} = \frac{4.8}{2.3631} = 2.0312 = \frac{1}{.492312}$$

この分母が 0 となる θ は　$x^2 + (2\times.246156)x - 1 = 0$

$\cos\theta = x = -.2462 \pm\sqrt{1+(.2461)^2} = .7837,$

$\theta = 38.40^\circ.$

すべての θ は　$\theta > 38.4^\circ$ or $\theta < 38.4^\circ$

○ $$F(\theta) = \frac{\pi}{180}\int_0^{\theta^\circ} f(\theta)\,d\theta^\circ, \quad e^{-F(\theta)}$$

○ $$g(\theta) = \frac{\sin\theta + \frac{\pi C_{DT}}{w}(1+\alpha\cos\theta)^2}{\cos\theta - \frac{\alpha^2 C_{DN}}{w}\sin^2\theta} = \frac{\sin\theta + 0.01329(1+2\cos\theta)^2}{\cos\theta - 2.0312\sin^2\theta}$$

○ $$G(\theta) = \frac{\pi}{180}\int_0^{\theta^\circ} g(\theta)\,d\theta^\circ$$

○ $$H(\theta) = \frac{\pi}{180}\int_0^{\theta}\frac{e^{G(\theta)}\,d\theta^\circ}{\cos\theta - 2.0312\sin^2\theta},$$

○ 張力　$\frac{T}{T_D} = e^{G(\theta)-G(\theta_D)}$

○ 長さ（Dから測る）

$$S = \frac{T_D}{W} e^{-G(\theta_D)} \{ H(\theta) - H(\theta_D) \},$$

$W = 30$ kg/m.

○ 偏角

$$\varphi = \varphi_D e^{-\bar{F}(\theta) + \bar{F}(\theta_D)}$$

iv) 下りライン

着底点の条件（iii項）から逆に上方船迄計算する。

○ $$f(\theta) = \frac{\frac{4C_{DN}}{w}\sin\theta}{\cos\theta\left(\cos\theta - \frac{\alpha^2 C_{DN}}{w}\sin^2\theta\right)} = \frac{6.0937\sin\theta}{\cos\theta(\cos\theta - 6.0937\sin^2\theta)}$$

i) 項にのべたように今は $\theta > 22.4°$ と考える。

○ $$\bar{F}(\theta) = \frac{\pi}{180}\int_{90°}^{\theta} f(\theta)\, d\theta°$$

○ $$g(\theta) = \frac{\sin\theta + .03988(2\cos\theta - 1)^2}{\cos\theta - 6.0937\sin^2\theta},$$

○ $$G(\theta) = \frac{\pi}{180}\int_{90°}^{\theta} g(\theta)\, d\theta$$

○ $$H(\theta) = \frac{\pi}{180}\int_{90°}^{\theta} \frac{e^{G(\theta)}\, d\theta}{\cos\theta - 6.0937\sin^2\theta},$$

A-7

昭和　　年　　月　　日

○ 張力 $\frac{T}{T_B} = e^{G(\theta) - G(\theta_B)}$

○ 長さ（Bから Aの方に測る）

$$S = \frac{T_B}{W} e^{-G(\theta_B)} \{ H(\theta_B) - H(\theta) \}$$

$(W = 10 \mathrm{kg/m})$

○ 偏角 $\varphi' = 180° - \varphi$

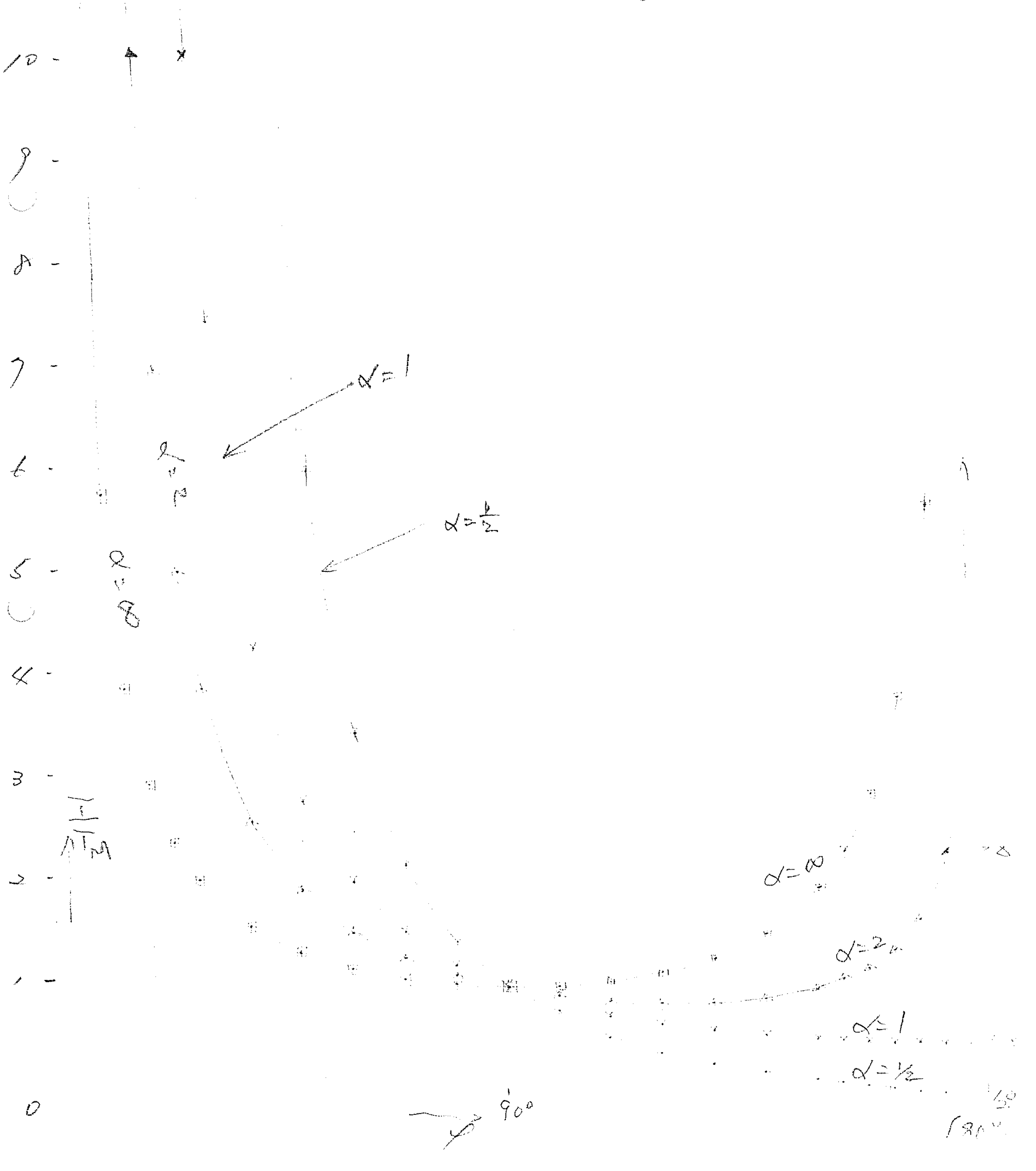
$$\varphi' = \varphi'_B e^{-F(\theta) + F(\theta_B)}$$

TABLE I $\quad T/T_M = \dfrac{t}{t_M} = \dfrac{1}{\sin\varphi\left(\tan\frac{\varphi}{2}\right)^{\frac{1}{\alpha}}}$

φ (deg.) \ α	1/2	1	2	∞ $\left(\frac{1}{\sin\varphi}\right)$
0	∞	∞	∞	∞
5	6019.2	262.80	54.9112	11.4737
10	752.34	65.8224	19.4699	5.7588
15	222.93	29.3483	10.6485	3.8637
20	94.036	16.5814	6.9629	2.9238
25	48.146	10.6735	5.0255	2.3662
30	27.856	7.4641	3.8637	2.0000
40	11.744	4.2743	2.5787	1.5557
50	6.0033	2.7994	1.9116	1.3054
60	3.4641	2	1.5197	1.1547
70	2.1705	1.5198	1.2718	1.0642
80	1.4421	1.2101	1.1085	1.0154
90	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
100	.7804	.93007	.93013	1.0154
110	.5218	.74616	.89051	1.0642
120	.3849	.66667	.87708	1.1547
130	.2839	.60872	.89142	1.3054
140	.2061	.56623	.93855	1.5557
150	.1436	.53590	1.03528	2.0000
155	.1163	.52457	1.11411	2.3662
160	.0909	.51554	1.22774	2.9238
165	.0670	.50867	1.40190	3.8637
170	.0441	.50383	1.70336	5.7588
175	.0219	.5010	2.3975	11.4737
180°	0	.5000	∞	∞

FIG 1.

$$\frac{I}{I_{TM}} = \frac{1}{\sin\varphi \left(\tan\frac{\varphi}{2}\right)^{\frac{1}{\alpha}}}$$



$$T/T_M = \frac{1}{\sin\varphi\,(\tan\frac{\varphi}{2})^{\frac{1}{\alpha}}}$$

$\frac{\varphi}{2}$	φ \ α	$\frac{1}{\sin\varphi}$ ∞	$(\tan\frac{\varphi}{2})$ 1	$\sqrt{\tan\frac{\varphi}{2}}$ 2	$(\tan\frac{\varphi}{2})^{\frac{1}{4}}$ 4	1/2
0	0	∞	∞	∞	∞	∞
2.5	5	11.4737	.04366 262.80	.20895 54.9112	.45711 25.1010	6019.2
5	10	5.7588	.08749 65.8224	.29578 19.4199	.54386 10.5887	752.342
7.5	15	3.8637	.13165 29.3483	.36284 10.6485	.60236 6.4143	222.927
10	20	2.9238	.17633 16.5814	.41991 6.96292	.64801 4.51197	94.0362
12.5	25	2.3662	.22169 10.6735	.47084 5.0255	.68618 3.4484	48.1461
15	30	2.0000	.26795 7.4641	.51764 3.8637	.71947 2.7798	27.8563
20	40	1.5557	.36397 4.2743	.60330 2.5787	.77672 2.0029	11.7436
25	50	1.3054	.46631 2.7994	.68287 1.9116	.82636 1.5797	6.0033
30	60	1.1547	.57735 2	.75984 1.5197	.87169 1.3247	3.4641
35	70	1.0642	.70021 1.5198	.83678 1.2718	.91476 1.1634	2.1705
40	80	1.0154	.83910 1.2101	.91602 1.1085	.95709 1.0609	1.4421
45	90	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.000
50	100	1.0154	1.19175 .93017	1.09167 .93013	1.04483 .97183	.7804
55	110	1.0642	1.42815 .74516	1.19505 .89051	1.09318 .97349	.5218
60	120	1.1547	1.73205 .66667	1.31607 .87738	1.14720 1.00654	.3849
65	130	1.3054	2.14451 .60872	1.46441 .89142	1.21013 1.07873	.2839
70	140	1.5557	2.74748 .56623	1.65755 .93855	1.28746 1.20835	.2061
75	150	2.0000	3.73205 .53590	1.93185 1.03528	1.38991 1.43894	.1436
77.5	155	2.3662	4.51071 .52457	2.12384 1.11411	1.45734 1.62364	.1163
80	160	2.9238	5.67128 .51554	2.38145 1.22774	1.54319 1.89465	.0909
82.5	165	3.8637	7.59575 .50867	2.75604 1.40190	1.66013 2.32735	.0670
85	170	5.7588	11.43005 .50383	3.38084 1.70336	1.83870 3.13200	.0441
87.5	175	11.4737	22.9038 .5010	4.7858 2.3975	2.1876 5.2448	.0219
	180	∞	0.5000			0

$$\frac{1}{\sin\varphi\tan^2\frac{\varphi}{2}} = \frac{1+\cos\varphi}{\sin\varphi(1-\cos\varphi)} = \frac{\cos\frac{\varphi}{2}}{2(\sin\frac{\varphi}{2})^3}$$