M 4-105-1

No.

Date 57.5.9

無限に広がる浮氷の一端に働く点荷重による応力場について 別冊

	頁
砕氷動力と抵抗	0-124
1. 静的2次元問題	1
2. 静的3次元問題	4
3. 動的2次元問題	14
別冊 砕氷船の所要馬力	58.7.18

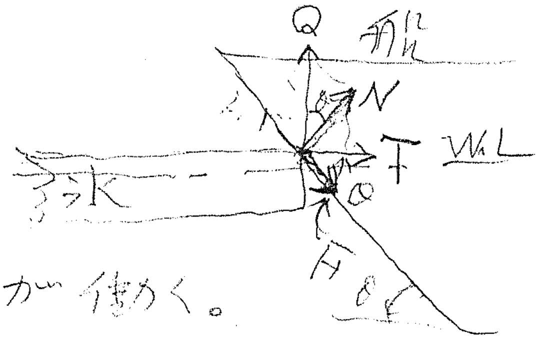
砕氷動力と抵抗

無限に広がった氷板の中を氷を割りながら進む船を考えよう。

氷を割るには氷板の面内力，つまり水平に力を加えるのでは面内応力となって割り難いと考えられ，鉛直な力をかけて面外曲げ応力によって割るのが効率的と考えられる。

その他削る，鋸で引き割る等も考えられるが曲げて割るのが最も良いように考えられる。

そこでまず船首で氷板を押している状態を考えよう。



船首レーキ角 θ，推力 T とすると船首材に垂直に N なる力が働き，それに直角に摩擦力 F が働く。

摩擦係数を μ とすると，

$$F = \mu N , \quad \cdots\cdots \quad (0.1)$$

N, F の合力の鉛直成分を Q とすると

$$Q = N\cos\theta - F\sin\theta = N(\cos\theta - \mu\sin\theta), \qquad (0.2)$$

$$T = N\sin\theta + F\cos\theta = N(\sin\theta + \mu\cos\theta), \qquad (0.3)$$

$$\therefore\ Q = T\,\frac{\cos\theta - \mu\sin\theta}{\sin\theta + \mu\cos\theta} = T\cot\theta\,\frac{1-\mu\tan\theta}{1+\mu\cot\theta}, \qquad (0.4)$$

それ故 Q/T は $\theta = 0$ の時最大で $(1/\mu)$ である。

Q_Bなる力が加わった時 氷は l_B だけ割れて船は l_Bだけ進むものとする。

氷厚を t とすると

$$l_B \propto \left(\frac{D}{\rho g}\right)^{\frac{1}{4}}, \quad \ldots \qquad (0.5)$$

Q_B なる力が加わった時の氷の変位を δ とすると

$$k\delta = Q, \qquad (0.6)$$

$$k \propto \sqrt{\rho g D} \qquad (0.7)$$

それ故 Q_B の力になる迄になす仕事は

$$W = \frac{1}{2}Q_B\delta = \frac{1}{2k}Q_B^2, \quad \ldots \qquad (0.8)$$

氷が曲げの引張り応力で割れるとすると
（σ_Bで）（又は圧縮で）

$$\sigma_B = \frac{\mathrm{Max}\,M}{\mathrm{Max}[I/y]} \propto \frac{Q_B l_B}{t^2}$$

$$\therefore\ Q_B \propto \frac{t^2}{l_B} = t^2\Big/\left(\frac{D}{\rho g}\right)^{1/4}, \qquad (0.9)$$

なお $T \propto Q_B$

$$W \propto \sqrt{\rho g D}\,\frac{h^4}{\sqrt{\frac{D}{\rho g}}} = \rho g h^4 \qquad , \cdots (0.10)$$

氷が割れると船は(質量M) l_B だけ進むが その速度は(ν)

抵抗を無視すると 時間をτとして

$$\left.\begin{aligned} v &= \frac{T}{M}\tau \\ l_B &= \frac{T}{M}\frac{\tau^2}{2} \end{aligned}\right\} \cdots (0.11)$$

それ故 平均速度 V は

$$\left.\begin{aligned} V &= \frac{T}{M}\frac{\tau}{2} = \frac{T}{2M}\sqrt{\frac{2M}{T}l_B} = \sqrt{\frac{T l_B}{2M}} \\ T \propto Q_S \text{ だから } &\cdots \propto \frac{h}{\sqrt{M}} \end{aligned}\right\} (0.12)$$

であるから 結局 抵抗 R は

$$R = \frac{W}{V} \propto \rho g h^3 \sqrt{M} \qquad , \cdots (0.13)$$

所要推力は次元的には (0.9) と同じで 氷厚の 1.25 乗に比例する。

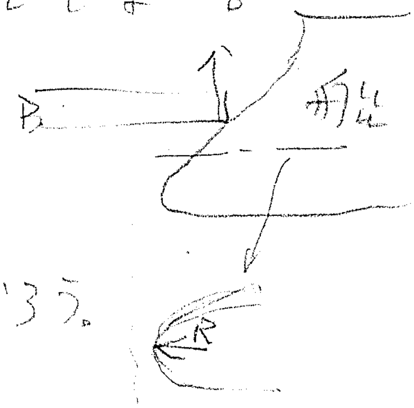
このような割り方はプロペラ推力 T のみを考えるのでは割が悪いように思われ、船から氷を引張る等の方法で T を増す方法が望ましい。

あるいは又 船の排水量を利用して Qを確保するのも良い方法であって，トリムさせる方法はこれに相当するだろう。

しかしもっと効果的にやるには 船首に腕を出してそれで氷を上から押えるのが良かろう。

その他また 船首のレーキ角は明らかに逆でもよい。

この方が摩擦係数は小さいだろう。



また以上のメカニズムで割れるのならば
船首のRはあまり小さくない方が良かろう。

また氷を爆破する場合は，水中に火薬を置く事が望ましいだろう。

(2.8)で後述するように氷板に垂直力を加えた場合の変位は大変小さく，1 ton に対し mm のオーダーである。

一方船について F なる力が船首に垂直に働く時の船首吃水の変化量 a_F は

$$a_F = \frac{F}{T} + \frac{F\left(\frac{L}{2}+f\right)^2}{M \cdot L},\ ?$$

$$T = \rho g A_W = \rho g L B C_W$$

$$M = \frac{W \overline{GM_L}}{L} \fallingdotseq \rho g L B d C_b$$

f ; 浮面心の船首方への距離.

$$a_F \fallingdotseq \frac{F L}{4W}\left[\left(1+\frac{2f}{L}\right)^2 + \frac{4d}{L C_{VP}}\right],$$

$L = 120\,m$, $W = 5000\,tons$, $F = 1\,tons$

として $a_F \fallingdotseq .6\,cm$ のオーダーとなる。

従って船のトリムと氷の変位は同じオーダーである。