マニラロープの靜荷重に對する伸びに就て*

増 崎 謙 二

（昭和二十四年九月三十日受理）

On the Elongation of Manilla Rope under the Steady Load.

KENJI MASUZAKI

SYNOPSIS

On account of investigation about the forces and moments in Manilla Rope and its elongation at the actually loaded states, I stretched the test-piece (not especially prepared) by the Amsler type testing machine in Nippon Gyomo K.K. and measured the load and the gauge-length, after loading over again until the gauge-length recovers perfectly when the load was returned to its initial state.

As the result of the above mentioned experiments, I got the diagam (see Fig. 1) between load and length, however, without holding fast to this relation, I proceeded the theorical consideration.

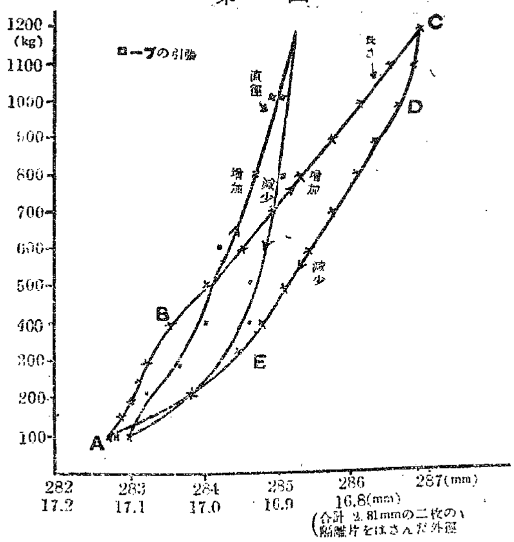
More-over, I am going to determine the empirical formula, basing on the result of the more exact experiment about the regular test-pieces.

本實驗に於ては日本漁網會社ストツクのマニラロープ（徑約 15 mm）を試験片に用い同社アムスラー型試驗機によつて靜荷重の下に引張試を行つた。尙實驗に於てよき忠告と實驗の便を與えて下さつた同社試驗部の佐藤氏に深甚の謝意を表したい。

1. 實驗方法　使用狀態に於けるロープは，或一定以下の荷重を繰返しかけた後の狀態，即ちヤーンの間の遊びが略々落着いたロープに荷重をかけたものと略々等しいとの考えのもとに，下撚りのヤーンの纖維が切斷音を出す荷重より少し低い荷重を繰返し數十回かける事に依り，ロープを略々完全に落着かせた後，100 kg の初荷重をかけた狀態から極めて除々に荷重を加えて行くと，低い荷重ではストランドの不同に基づく不平等な荷重の分布に依ると思われる A, B の狀態を經て，後直線に近い徑路を辿つた。最大の荷重 1200 kg とした時の試驗片の伸では 1 ピンチに付き 0.827 mm。次に荷重を減少して行く場合には最初 C, D の如く荷重は下り，後は D, E の如く増加線とは僅かに異つた勾配で減少し，荷重約 300 kg の E より伸びの回復は次第に大となり，時間を長くかけさへすれ

* 第二水產講習所研究業績第11號

第 1 圖



ば略々完全にもとの狀態 A に戻る事,及び直徑の變化も矢張り第 1 圖の如く略々閉曲線を描く事を觀察した。以上の如き定性的觀測に基づき次の如き理論的考察を進めて見たが,更に正確な試驗片について今後の精密な實驗結果を俟つて檢討を進めたい。

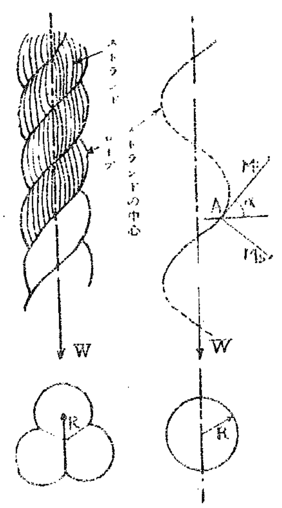
2. 荷重に依るモーメントの釣合 上撚りのストランド一本を取出して考える。上撚りの中心の描く徑路を螺線であるとし此の半徑を R, ピッチ角を α とする。今荷重が W かかつた場合,此の螺線上の一點 A に作用する偶力は,

$3M_b = WR \sin\alpha$, 曲げ,

$3M_t = WR \cos\alpha$, 捩り,

剪斷及び引張は小さいから無視して考える。

第 2 圖



次に上撚りの中の下撚り一本について,その一點 B に作用する曲げ及び捩りモーメントは次の如くなる。

	M_t より	M_b' より	M_b'' より
捩り M_1	$M_t \sin\beta$	$M_b \sin\beta$	0
曲げ M_2	$M_t \cos\beta$	$-M_b' \sin\beta$	M_b''

B 點に作用する捩りモーメント及び曲げモーメントは

$$M_1 = M_t \sin\beta + M_b' \cos\beta$$

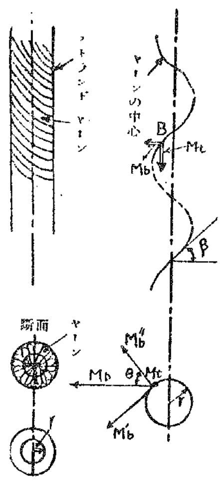
$$M_2 = \sqrt{(M_t \cos\beta - M_b' \sin\beta)^2 + M_b''^2}$$

$$M_b' = M_b \sin\theta\ , \qquad M_b'' = M_b \cos\theta\ ,$$

以上のモーメントは,ロープの上撚り或は下撚りの一本を取出して之に荷重が加はつた場合の一本の上撚り(ストランド)或は下撚(ヤーン)にかかるモーメントである。然るにヤーン或はストランドを數本取揃へて之を撚り合せたロープに於ては, ヤーン或はストランドの一本一本は,互ひに押合う如き壓力を及ぼし合う。此の互いに押合う抵抗がロープの張力に最も大きくきいてくる。

今下圖を下撚りのヤーン一本の中心線の描く螺線の平面圖と考えると,此のヤーンには第

第 3 圖



3圖の如く一様な内壓 p が作用している。ヤーンそのものの曲げに對する剛性を無視して考えると，此の内壓 p に基づくモーメントが M_2 に對抗しているものと考えねばならぬ。今の此の p の變化による r の變化を dr とし　$dp=k\ \ dr/r$[1]　とすると

$p=p_0-k\ \ln r/r_0$,　　但し p_0, r_0 は初荷重に於ける値とする。此の式で $r/r_0\cong 1$ なる故 $\ln r/r_0\cong r/r_0-1$ と置けば

$$p=p_0-k\ (r/r_0-1)$$

此の式の中の常數 k は增加の場合と，減少の場合で，その値を異にする。

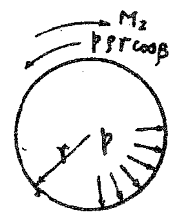
次にヤーンの中心線の描く螺線の曲率半徑を ρ とすれば，此の一様な壓力を支へる爲には，ヤーンの斷面には $p\rho$ なる張力が作用せねばならぬ。ヤーンそのものの曲げに對する剛性を無視して考えると結局次の平衡條件が成立つ。

$$M_2=p\rho r\ \cos\beta\ ,$$

此所でヤーンの伸びは無視出來るものと考え h を此の螺線の步みとすると，

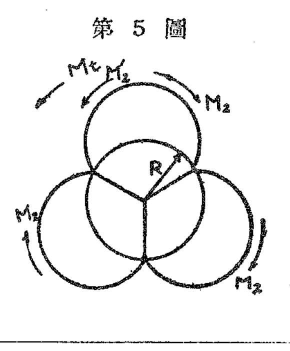
$4\pi r^2+h^2=4\pi r_0{}^2+h_0{}^2$ であるから　$M_2=(r_0{}^2+\dfrac{h_0{}^2}{4\pi^2})(p_0-k\dfrac{r}{r_0}+k)\cos\beta$,

第 4 圖



M_t なるヤーンの捩りに依る抵抗は小なるものとして考えない事にする。以上下撚りのヤーン一本を取出して之にかかるモーメントの釣合いを考えたのであるが，此の下撚りのストランド三本を取揃へて更に之を逆方向に上撚りをかけたものが實際のロープなのである。今ストランドの中のヤーンの數を ν とし各ヤーンが荷重を一様に分擔するものと假定する時，　$M_t=\nu M_2$　ならばストランドとストランドの接觸面に摩擦力は働かないのであるが，此の様な釣合の條件を滿足してないロープに於ては，當然ストランドとストランドとの間の壓縮力 P と，R の函表であらはせる如き

第 5 圖



$M_2'=f(P,R)$　なるモーメントが作用して，此の M_t, M_2, M_2' が釣合つているのであるが簡單の爲 M_2' の影響を考えないものとすれば次の平衡條件が成立つ。即ち

$WR\cos\alpha\ =\ \nu\,(r_0{}^2+\dfrac{h_0{}^2}{4\pi^2})(p_0-k\dfrac{r}{r_0}+k)\cos\beta$ となる。

1)　田内森三郎　網糸の研究　Ⅱ 網糸の荷重と伸びの關係　水講試報 23—3

之に，ヤーンそのものは伸びないという條件，$\cos\beta=\dfrac{2\pi r}{(h_0{}^2+4\pi^2 r_0{}^2)^{\frac{1}{2}}}$ を代入して

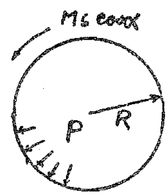
$$\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 \cong \frac{2r}{r_0}-1, \qquad \text{とおくと}$$

$$WR\cos\alpha=\frac{\nu}{2\pi}(4\pi^2 r_0{}^2+h_0{}^2)^{\frac{1}{2}}\{r(p_0-k)+kr_0\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

次に下撚りに於て考えたと同様な考えで一本のストランドにかかる荷重に依る曲げモーメントの釣合を考えると次の如くなる。

$M_b\cos\alpha=P\rho' R\cos\alpha$，　但し ρ' はストランドの中心の描く螺線の曲率半徑である。

第 6 圖



故に此の螺線の半徑を R，歩みを H とし初荷重に於ける半徑を R_0，壓力を P_0 すれば，

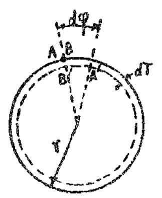
$$M_b=(R^2+H^2/4\pi^2)\left(P_0-K\ln\frac{R}{R_0}\right)$$

$$\therefore\ WR\sin\alpha=(R^2+H^2/4\pi^2)\left(P_0-K\frac{R}{R_0}+K\right)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

此の式の中の K も増加と減少の場合で値を異るする常數である。

3. **ロープ内に於ける歪エネルギー**　　今 M_2 に依つてストランドの半徑が dr だけ減少したとし，ヤーンの伸びは充分に小さいと考えると，ストランドの軸は

第 7 圖



$d\varphi=\dfrac{dr}{r}\,2\pi$　丈回轉せねばならぬ。結局 M_2 の爲に此の一本のストランドに蓄へられる歪エネルギーはストランドの一ピツチ當り。

$$A_1=\nu\int M_2\,d\varphi=\nu(4\pi^2 r_0{}^2+h_0{}^2)^{\frac{1}{2}}\int\left(p_0-k\frac{r}{r_0}+k\right)dr$$

之を r_0 から r 迄積分すると

$$A_1=\nu p_0(4\pi^2 r_0{}^2+h_0{}^2)(r-r_0)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

結局 M_t に基くヤーンの張力に依り一本のストランドに蓄へられる歪エネルギーは（3）の如き式であらわされる。

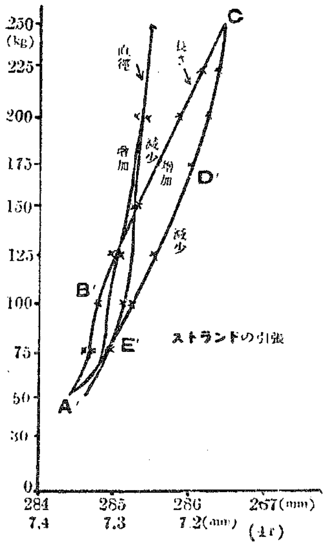
次にロープを引張つた場合，荷重に依るロープの軸の回轉はないものと假定している故にストランドの描く螺線はピツチの變化に基づく幾何學的變形とストランドそのものの伸びに依つて變るものと考えれば M_b に基づくストランドの張力に依り一本のストランドに蓄へられる歪エネルギーはストランド１ピツチ當り $A_2=\int P\rho' de$，に依つて與えられる。此所で e はストランドの１ピツチ當りの伸び，ρ' はストランドの中心線の描く螺線の曲率半徑である。

しかるにストランド一本をロープの場合と同じ要領で引張試驗した結果右のグラフの如き荷重と伸びの關係を得た。此の結果についても荷重分擔の不同性に基づくと思われる複雜な點を考慮に入れないで，しかも增加と減少の場合の B′ C′ 及び D′ E′ の間について荷重と w と e との關係を求めて簡單の爲に $w=k'e$, と置けば, $w=P\rho'$ であるから

$$A_2 = \frac{1}{2}\ \frac{P^2\rho'^2}{k'} = \frac{1}{2k'}\left(\frac{P_0}{R}+\frac{K}{R}-\frac{K}{R_0}\right)^2$$
$$(R^2+H^2/4\pi^2)^2 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

此の k' も圖で解る如く，增加の增合と減少の場合でその値を異にするものと考えねばならぬ。

第 8 圖



次にロープ1ピッチ當りの伸びを δ とすれば，ロープを引張つた場合ロープ1ピッチ當りに蓄へられる歪エネルギーは

$$A=\int W\,d\delta=\int W\,dH$$

又ロープ1ピッチ中のストランドのピッチ數は $R\tan\alpha/r\tan\beta$ と考えてよいから，ロープに蓄へられたエネルギーに關して $A=3\dfrac{R\tan\alpha}{r\tan\beta}(A_1+A_2)$, なる關係式が成立つ。之に（3），（4）を代入すれば

$$A=\frac{3R\tan\alpha}{r\tan\beta}\left\{\nu p_0(4\pi^2r_0^2+h_0^2)(r-r_0)+\frac{1}{2k'}\left(P_0-K\frac{R}{R_0}+K\right)^2\left(\frac{R^2+H^2/4\pi^2}{R}\right)^2\right\}$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

4. 幾何學的關係及び荷重と伸び l_0 をストランド一ピッチ當りのヤーンの長さとすれば，$4\pi^2r_0^2+h_0^2=4\pi^2r^2+h^2=l_0^2$，更に $4\pi^2R^2+H^2 \doteqdot h^2$ であるから，此の關係を（1）に代入すると

$$W(H^2+4\pi^2R^2)^{\frac{1}{2}}\left(\frac{2R}{R_0}-1\right)=\frac{\nu l_0}{8\pi^3R_0^2}\left\{(l_0-H^2-4\pi^2R^2)^{\frac{1}{2}}(p_0-k)+2\pi k r_0\right\}\cdots\cdots(6$$

（2）の式に代入すると

$$WHR=\frac{1}{4\pi^2}(H^2+4\pi^2R^2)^{3/2}\left(P_0-K\frac{R}{R_0}+K\right)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

（5）の式に代入すると

$$\int W\,dH=\frac{3H}{(H^2+4\pi^2R^2)^{\frac{1}{2}}}\left[\frac{\nu p_0\, l_0^2}{2\pi}\left\{(l_0^2-H^2-4\pi^2R^2)^{\frac{1}{2}}-2\pi r_0\right\}+\frac{1}{32\pi^4k'R}\right.$$
$$\left.\left(P_0-K\frac{R}{R_3}+K\right)^2(4\pi^2R^2+H^2)^2\right]\cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

次に（6），（7）より $H^2+4\pi^2R^2$ と R を求めて（8）に入れると（8）の右邊は F (H,W) であらわされる故（8）の式は

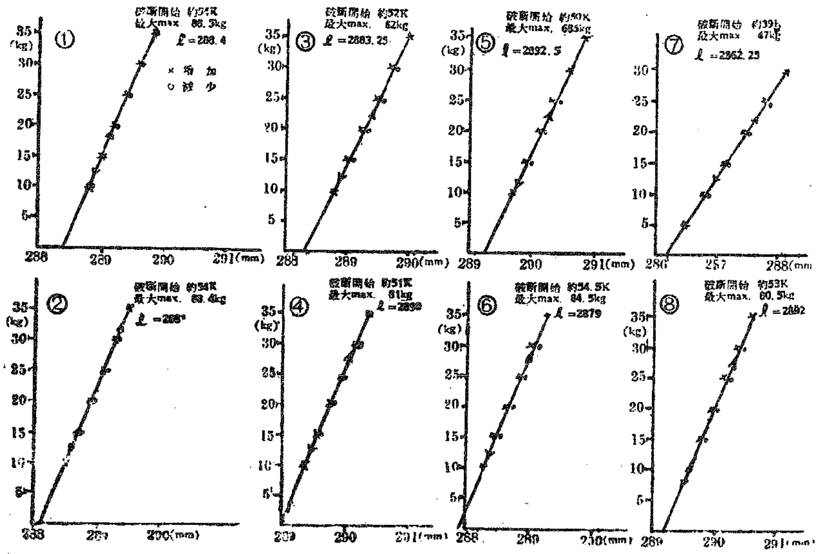
$$\int \mathrm{W}dH=\mathrm{F}(H,\mathrm{W})$$ となる　之を H に關して微分すると

$$\mathrm{W}=\mathrm{F}'\left(H,\mathrm{W},\frac{d\mathrm{W}}{dH}\right)$$ となり　此の微分方程式を解く事に依つて W と H の關係は求まる筈であるが，更に正確な試驗片について精密な測定の結果を考慮して實驗式を求めたい。

5. 結　論

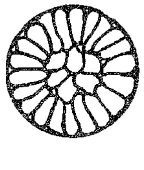
ヤーンの不同を實驗した結果次の圖の如き大なる不同のある事を認めた。但し此の圖に表れている伸びは纖維そのものが伸びたのではなくストランドの扁平なものが引張られて幾何學的に圓形になつた爲の伸びであり，左圖はヤーンの不同を示すに外ならない。ロープの强さに對する優劣は結局は此の不同にもとづくものが最大である樣に思われる。

第９圖　ストランド一本を解いてその中の八本に對する引張試驗



尙下の圖の如きヤーンの配置を有する大型のロープでは中心附近のヤーンは曲率半徑大なる爲，幾何學的な變形を起し難く，その爲荷重は中心附近のヤーンと周圍のヤーンとに平等にかからず，先づ中心附近のヤーンが非常に低い荷重で切斷する。即ち中心附近のヤーンは餘り意味をなさない事になる。

第10圖



更にアムスラー型試驗機に依つて引張つた爲，荷重による上撚，下撚りの釣合の不均衡に基づく上下の回轉が固定されているが此の影響も勿論考えていない。尙伸びの測定にはノギスを用いて上下の掴みの影響のない中間の二點間約28〜29cmの間隔の變化を測定したのであるが $\frac{2}{10}$ mm 位の變化を正確に讀取る事は殆んど不可能である爲，今後電氣的に精密な測定を行う豫定である。