(第 12 図) JIS 規格のリングに対する

$\Delta D_{\min}^c - c$ 曲線 (計算値)

9. 結 語

コップ チェンジ用木管に，リングをはめこむ場合の変形を，リング材の加工硬化を考慮に入れて解析した．第 1 報の非加工硬化材の場合（第 6，8 図に記入）と比べれば，その影響の顕著なことがわかる．計算結果は定性的にも定量的にも実験値とよく一致し，リング設計の資料を得，その方法を明らかにして，一応所期の目的を果すことができた．最後に JIS 規格のリング径 ($2d = 2.9 \text{ mm}$) を検討し，多少細くすべきことを指摘した．

本研究を終るにあたり，種々御教示をいただいた千田香苗教授に厚く感謝の意を表する．

文 献

- 1) 都築，田中，林；織機誌，8 巻，10 号（昭 30-10）

より構造を材料力学より考える*（第 4 報）

（昭和 31 年 4 月 20 日受理）

会 員 図

師

督**

→ 摘

要 ←

研 究 目 的

より構造におけるより軸方向の縮まり，より半径方向の細まりを解析し，またより軸を曲げる力，より操作における接触抵抗を検討する．

研 究 結 果

より構造の変形の特異性の基本解析を一応終る．そしておよそより構造が採られる理由は

- (1) 曲げとねじり変形によって対処する特異な弾性構造の形成
- (2) より操作によって招来される接触抵抗がもたらす不連続繊維の連続性の増大と結論する．

14. 安定もろよりにおけるより縮み

単素線の安定もろよりにおいては，よりの短縮の割合を p/l であらわすとすれば， $p/l = \cos \varphi$ の関係から，これと (62) 式とによって

$$2\{(EI - GI_p)^2 - 1\}\{1 - (p/l)^2\} - 1 + (r\theta_1/l)\{1 - 2(p/l)^2\}/(p/l)\sqrt{1 - (p/l)^2} \dots\dots\dots (133)$$

の関係になり

$EI = GI_p$ の場合では

$$p/l = \sqrt{2} \ r(\theta_1/l) / \sqrt{1 - (2r\theta_1/l)^2} - \sqrt{1 + (2r\theta_1/l)^2} \dots\dots\dots (134)$$

で与えられる．

線束のもろよりにおいて，すなわち l の長さの直線をより半径 r によった線束のより軸を，更により半径 R にてより角 ψ によったとき，線束のより角が φ_r になっているとすれば，より短縮の割合は $\Gamma = \cos \varphi_r \cos \psi$ で与えられる．また線束に生じているより旋回角を θ_r ，より率を γ とすれば， $\gamma = \theta_r/l \cos \varphi_r = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_r}/r \cos \varphi_r$ であって， $\cos^2 \varphi_r = 1/(\gamma^2 r^2 + 1)$ となるから

$$\Gamma^2 = \cos^2 \psi / (\gamma^2 r^2 + 1) \dots\dots\dots (135)$$

となる．

線束の安定もろよりにおけるより短縮の割合は，²⁾ (127) 式から

* On the Twisted Structure. Part 4.

** T. Zushi, Member. 東京農工大学繊維学部

$$\cos^4 \psi - \cos^2 \psi + R^2(\theta_1/l)^2/[1-(r\theta_1/l)^2] = 0,$$

$$\cos^2 \psi = [1 \pm \sqrt{1-4R^2(\theta_1/l)^2/[1-(r\theta_1/l)^2]}/2]$$

$$\dots\dots\dots(136)$$

を得、また $1 \leq 2R\theta_1/l\sqrt{1-(r\theta_1/l)^2}$ の領域では、(132)

式の事実から、 $\cos \varphi_r = 1$ となって

$$\Gamma^2 = [1 + \sqrt{1-4R^2(\theta_1/l)^2/[1-(r\theta_1/l)^2]}/2] \dots\dots(137)$$

$$= [1 + \sqrt{1-4(R/r)^2 \tan^2 \varphi_1}/2] \dots\dots\dots(137)'$$

である。

$1 < 2R\theta_1/l\sqrt{1-(r\theta_1/l)^2}$ の領域に入る場合には、前述のように $\sin 2\psi = 1$ を限界として $\psi = 45^\circ$ において安定よりが形造られて、(131) 式の過剰よりが残る。そこで

$$\cos^2 \psi = \cos^2 45^\circ = 1/2$$

また (131) 式によって

$$\begin{aligned} \cos^2 \varphi_r &= 1 - (\theta' r/l)^2 = 1 - r^2\{\theta_1/l - 1/\sqrt{4R^2 + r^2}\}^2 \\ &= 1 - \{\theta_1/l - 1/\sqrt{(2R/r)^2 + 1}\}^2 \dots\dots(138) \end{aligned}$$

が得られて

$$\Gamma^2 = (1/2) \{1 - \{\theta_1/l - 1/\sqrt{(2R/r)^2 + 1}\}^2\} \dots\dots(139)$$

となる。

15. より半径方向の変位のみ許されている 場合のよりに伴うモーメントの変化

直線 l がより軸の長さを p (ただし $p < l$ に限定する) に保ったままよられるとする。よりのより軸回りの旋回角が θ になっておれば、これに伴うモーメントは

$$M_b = EI \sin^2 \varphi / r = EI \sqrt{1-(p/l)^2} \theta / l \dots\dots\dots(140)$$

$$M_t = GI_p \sin \varphi \cos \varphi / r = GI_p (p/l) \theta / l \dots\dots\dots(141)$$

であって、旋回角の変化に伴うモーメントの変化は

$$dM_b = EI \sqrt{1-(p/l)^2} d\theta / l \dots\dots\dots(142)$$

$$dM_t = GI_p (p/l) d\theta / l \dots\dots\dots(143)$$

である。そこで一般に、前もって曲げおよびねじりモーメント M_{b0} および M_{t0} を与えられている長さ l の直線がより軸の長さ p にて θ_1 の旋回角によられているものを、 p の長さを保ちながら θ_2 だけ更に旋回するとすれば、モーメントは次のような関係で与えられる。

$$\begin{aligned} M_b &= EI \sqrt{1-(p/l)^2} (\theta_2 + \theta_1) / l + M_{b0} \\ &= EI \sqrt{1-(p/l)^2} \theta_2 / l + EI \sqrt{1-(p/l)^2} \theta_1 / l + M_{b0} \\ &\dots\dots\dots(144) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_t &= GI_p (p/l) (\theta_2 + \theta_1) / l + M_{t0} \\ &= GI_p (p/l) \theta_2 / l + GI_p (p/l) \theta_1 / l + M_{t0} \dots\dots\dots(145) \end{aligned}$$

いうまでもなくモーメントの増減は、それぞれ旋回角の増減に正比例する。

p の軸長さで旋回角 θ_1 でセットしているものでは、 $M_{b0} = -EI \sqrt{1-(p/l)^2} \theta_1 / l$, $M_{t0} = -GI_p (p/l) \theta_1 / l$ に相当するものであるから、これに θ_2 のねじり旋回を与

えたとき保有するモーメントは

$$M_b = EI \sqrt{1-(p/l)^2} \theta_2 / l \dots\dots\dots(146)$$

$$M_t = GI_p (p/l) \theta_2 / l \dots\dots\dots(147)$$

となる。

線束がよられるとき、素線の半径方向に変位の余裕があれば、一応この方向に変位を起しながらより旋回角を変えると考えるのが妥当である。半径方向に変位の余地が無くなれば、軸方向の変位を伴ってより角の変位が起るようになる。この場合半径を異にする配置の素線間では、より率 (θ/l) に対し各々異なったより縮み長さ $(\sqrt{1-(r\theta/l)^2})$ を示す結果になる。したがって逆に同一より縮み長さを保ってより線束が形造られるためには、外側が伸びるか内側が縮むかの処理が施されなければならぬ。両端固定の状態に置かれた連続した線束では、この処置は素線自体の伸縮によって行われねばならないが、ある程度自由な短線束では相互間の適当なすべり変位によって果されるわけである。短繊維束のより操作における一つの特徴と認めてもよい事柄である。

より軸方向の長さを p に制限されている場合より旋回角 θ とより半径との間には

$$r = \sqrt{l^2 - p^2} / \theta \dots\dots\dots(148)$$

$$dr = -r^2 d\theta / \sqrt{l^2 - p^2} \dots\dots\dots(149)$$

の関係がある。粗に配列された線束は、よりに伴って外側より密に接近し、接触抵抗を増し、連続繊維の性格を更に進んでは単線の容相を帯びて来るに至る。この事態こそは、より操作機構において認められてよい最も顕著な特性の一つである。

よりは変形によってもたらされる限り、多かれ少なかれ素線の変形抵抗力に相当する外力を受けて、結束手段によってつりあいを保たれている。この素線自体がさらされる応力は、よりが強くなる程増大する。言い換えれば、よりを造ることに素線固有の強さの一部は振り向けられるという免れない事実を忘れてはならない。

しばしば見受けるより線束のより数と切断強度一実には外部より加増すべき力一との関係内実験結果において、より数に対し強度がある限界までは増大、これを越えて減少の形があらわれるのも、前半は短繊維の連続性の漸増、後半部においては素線の実強度に対する変形のためへの別途支払応力の差引勘定のあらわれに外ならないと考えれば、その間の事情を推察する手がかりがつかめるのではないかと考える。

何が故に糸はよられて造られるか。この辺のところにより構造操作の比類ない利用特性の一つが浮び上って来るようである。

16. より構造をより軸に沿って曲げる力

より構造がより軸を曲率半径 R_0 の円弧に曲げるとき、より構造内には抵抗モーメントが発生する。その変動の状態は、より軸に基いては前述のようである。外部からの力によって、この状態を保つためには、その端部にいかなる相当力のモーメントを加え、つりあわせなければならないかを解析する。

曲げられたより軸の曲率半径方向により軸より R_1 のところに、より軸を含む平面に垂直な軸を考え(第1図)、この位置に関する力のモーメントにてつりあいを保たしめるものとする。この軸方向の力を P_{c0} 、より軸の接線に平行方向の力を P_{a0} とすれば

(第1図) より構造の軸を曲げる力

$$P_{a0} = dM_a \cos \theta / (R_1 + r \cos \theta) \\ = (EI \sin 2\varphi \cos \varphi - GI_p \cos 2\varphi \sin \varphi) \cot \varphi \cos^2 \theta / R_0 (R_1 + r \cos \theta) \dots (150)$$

$$P_{c0} = dM_c / (R_1 + r \cos \theta) \\ = -(EI \sin 2\varphi \sin \varphi + GI_p \cos 2\varphi \cos \varphi) \cot \varphi \cos \theta / R_0 (R_1 + r \cos \theta) \dots (151)$$

である。ただし P_{0a} の作用する位置は、より軸の曲率半径より $r \sin \theta$ だけ離れていて、これらの力の外に曲率半径上 P_{0a} と平行に、更に

$$P_{ap} = dM_a \sin \theta / r \sin \theta \\ = -(EI \sin 2\varphi \cos \varphi - GI_p \cos 2\varphi \sin \varphi) \cot \varphi \cos \theta / r \dots (152)$$

を必要とする。

$EI = GI_p = EI'$ の場合には

$$P_{ac} = -EI' \cos \varphi \cos^2 \theta / R_0 (R_1 + r \cos \theta) \dots (150)'$$

$$P_{c0} = -EI' \cos \varphi \cot \varphi \cos \theta / R_0 (R_1 + r \cos \theta) \dots (151)'$$

$$P_{ap} = -EI' \cos \varphi \cos \theta / r \dots (152)'$$

となり、更に $R_1 \gg r$, $R_1 = R_0$ の場合には

$$P_{ac} = -EI' \cos \varphi \cos^2 \theta / R_0^2 \dots (150)''$$

$$P_{c0} = -EI' \cos \varphi \cot \varphi \cos \theta / R_0^2 \dots (151)''$$

$$P_{ap} = -EI' \cos \varphi \cos \theta / r \dots (152)''$$

となる。線束の配列によっては、曲率中心にて力の相殺関係が得られるわけである。

17. より操作における摩擦抵抗

より操作において摩擦抵抗が考えられるのは、一般の場合と同様、素線が互に接触していて、そこに圧力が加わり、かつ接触部において素線相互に相対変位が起るか、或はまさに起ろうとする場合であって、その向きは常に変位方向に対して反対である。しかも非保存力であるから、より構造が一旦摩擦抵抗力を処理して形造られた場合、構造内の弾性変形によるごとき包蔵力とはならない。安全より等の決定には考えに入れなくてもよいわけになる。ただし相接触したよりの束を伸縮もしくは、よりまたは解く場合には、これは所要力の一部として加減せらるべき性質のものである。

構造物一般に考えられるごとく、接触摩擦抵抗は構造締結に大いに役立つものである。

む す び

より構造の弾性変形は、素線の軸方向の伸び縮みを来す引張り、圧縮の直接応力の作用による段階の前に、もっぱら曲げ変形をもたらし曲げモーメント、ねじり変形をもたらしねじりモーメントの結び合いによって行われ

$$M_b = P_b r = EI \sin^2 \varphi / r + M_{b0}$$

$$M_t = P_t r = GI_p \sin \varphi \cos \varphi / r + M_{t0}$$

あるいは

$$M_a = P_a r = (EI - GI_p) \sin^2 \varphi \cos \varphi / r \\ + (M_{b0} \cos \varphi - M_{t0} \sin \varphi)$$

$$M_c = P_c r = (EI \sin^2 \varphi + GI_p \cos^2 \varphi) \sin \varphi \\ + (M_{b0} \sin \varphi + M_{t0} \cos \varphi)$$

の基本式を立て、これによってあらゆる関連する面の解明ができる。

糸、ロープあるいはこれを要素とする布等の柔剛、伸

縮性は、一応かかる構造力学の取扱いをいとぐちとして考えらるべきものである。したがってより構造の変形に関しては、素線のもつ性質は、断面積、縦弾性係数(E)のみでなく、断面の形状(I 及び I_p に関係して)、横弾性係数(G)の与える面を度外視することはできない。すなわち、素材をより構造として扱う場合、また新たにより構造用の素材を成形するに当って、より構造面からいかなる性質を強調すべきかの将来発展への一つの拠りどころを確立した。

より構造の変形とこれを起す力との関係は、元来と後來(変形操作中に塑性変形等の結果)とを問わず、直線状態において保有する、もしくは保有したであろうところのモーメント(M_{b0} , M_{t0})の如何によって、左右される考え方によってより明確に解明できることを提示した。

基本方式の裏づけの一例証として、より構造の一形式である「もろより」の安定よりが、構造力学の見方から理論的にも決定されることを実証する。糸、布等の収縮の大きい一因は、不つりあい状態におかれているより構造が安定する構造変形過程のものであるとし、より操作は単なる算術幾何学的決定によって処理すべきものでなく、構造学として当然構造力学の導入にまたなければならぬいとぐちをつけた。

本文においては、より構造の変形はもっぱら弾性の保たれる範囲の事柄として扱うところで一応結びをつけている。当然考えられることは、塑性変形への展開である。事実一般の素材では、より構造へ形造られる過程で、弾性の限界を越えて、塑性変形を伴う場合が少なくない。また特に繊維類にては、温度、湿度或は時効によって弾性およびその限界は相当に変化すると見なさなければならない。

これ等の事情については

(1) 素材の弾性係数(E および G)が変形、温度、湿度、時効に関連していかに変るか見定める。

(2) 弾性が同じくいかなる程度に関連にて塑性変形に移り行くか見極める。

これらを本文中の E , G および M_{b0} , M_{t0} に投入することによって、弾性範囲の理論の領域をある程度、更にひろげられ得るものと信ずる。

けだし、かかる変化の応用は、より構造成形後の熱処理、糊付け、Soaking等の操作において行われる事実であって、意義のひそむところというべきである。

研究押しひろげの次の段階の対象は、この方向に約束されている。

更に繰り返していう。より構造の利用特性は、(1) 直接応力たる引張り、圧縮の伸び縮みによらずして、間接応力たる曲げ、ねじり変形をもってする比類ない弾性構造であること、(2) 束のよりにおいて、より旋回もしくはより軸向きの伸びによって起るより半径の縮小がもたらす、素線間の摩擦抵抗の増加による結束作用が本来の短小素線を一連の素線束に形造る構造方式に外ならぬことにあるとして、かかる構造が、古くからかくもただ存在のままわれらの生活の中に造り継ぎ済まされている事実を今更に認識し、掘り下げて行く一つの手がかりになれかしと念じて結びとする。

なお本題目をとりあげ、研究を続けるに際し、終始批判し力づけをいただいた恩師丹羽重光先生に対し、ここに感謝の意を表したい。

注

- 1) 図師 督: より構造を材料力学より考える(第3報), 繊維誌, 9, 142(昭31-3)
2), 3), 4) 同, 9, 148(昭31-3)

〔訂正〕

(第3報)を下記のごとく訂正。

頁 行

- 3 左欄上から22 誤

$$\{1+r^2(\theta/l)^2\}-\theta/p\} \dots\dots\dots (63)$$
 正

$$\{1+r^2(\theta/p)^2\}-\theta/p\} \dots\dots\dots (63)$$
 3 左欄上から26 誤

$$(\theta_1/l) r^2 (\theta/p)^2 + \theta/l - \theta_1/l = 0$$
 正

$$(\theta_1/l) r^2 (\theta/p)^2 + \theta/p - \theta_1/l = 0$$
 7 右欄上から16 誤

$$dM_a = -(\theta/l) \cos \varphi \cos \Theta / R_0 \dots\dots\dots (107)'$$
 正

$$dM_a = -(\theta/l) \dot{E} I' \cos \varphi \cos \Theta / R_0 \dots\dots (107)'$$