

可逆式冷間圧延機用引張巻取機

Tension Reel for Reversible Cold Strip Mill

石井 英雄* 小鹿 敏夫*

Hideo Ishii

Toshio Ojika

内 容 梗 概

一般にストリップの冷間圧延においては圧延機の入口側および出口側に引張巻取機を設け、ストリップに強力な引張力を作用せしめながら圧延を行う。このために引張巻取機にて巻取ったストリップコイルによつて巻取胴は大きな巻締力を生じ、その内部応力も高くなるので、巻取機の設計製作にとつて、これら巻締力、巻取胴の内部応力分布を知ることはきわめて重要な事柄となつている。筆者は、これらにつき理論的解明を試みるとともに、可逆式四重冷間圧延機について巻締力を測定し、かつ光弾性実験により、巻取胴の応力分布を測定したので、その二、三を紹介する次第である。

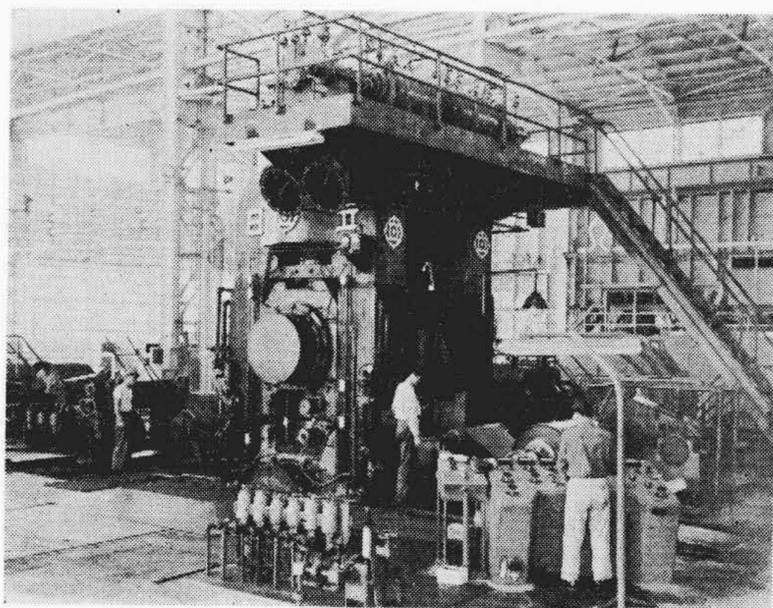
〔I〕 緒 言

最近コールドストリップの圧延設備が著しく発達するとともに、圧延されるストリップの品質向上がますます要求されるようになってきた。コールドストリップの圧延においてはストリップに与えるテンションが重要な役割を有することは広く知られているところであり、⁽¹⁾⁽²⁾単に圧延圧力を減少し、圧延機ならびにロールの変形を減少せしめて薄いストリップの板厚精度を高め、かつストリップの表面状態を平滑良好ならしめるのみでなく、圧延中にロールカーブ、ローリングオイル、圧延速度、機構各部の温度変化などに基く板厚の変動を、ストリップテンションを加減することにより、もつとも簡単にコントロールすることができる。さらに圧延動力の減少、ロール磨耗の防止、圧延中材料の絞り込みの防止など作業能率を向上するためにもきわめて重要なものである。このようにストリップテンションはストリップの圧延には欠くことのできないものであり、可逆式冷間圧延機では巻取機にてストリップにテンションを与えるので、巻取ったコイルによつて巻取胴は強力な巻締力を受ける。一般にストリップのテンションはストリップ材の抗張力の30%以上がよいとされているが巻取胴の機械的強度上より制限を受ける現状である。なお実際に生ずる巻締力は巻取胴の構造、ストリップに与えるテンション、ならびに巻取ったコイルの巻太り量によつて左右されるものであり、筆者はこれの理論的解明を試みるとともに実際に可逆式四重冷間圧延機について、巻締力を測定し、またコイルのバックリングについても検討を行い、さらに巻取胴各部の応力を光弾性実験によつて調べたので、ここにその概要を紹介する。

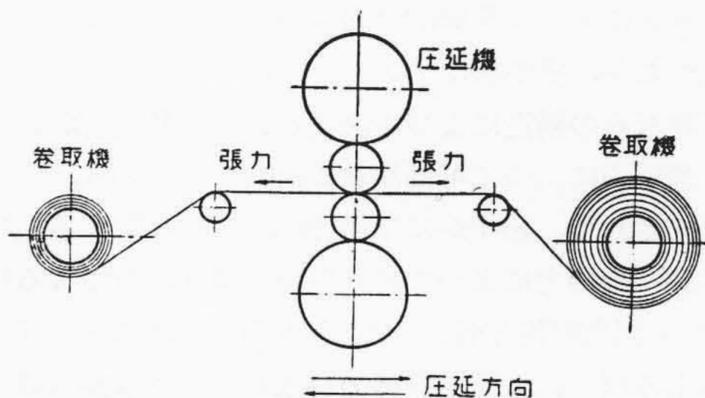
〔II〕 巻取胴の構造

引張巻取機は第3図に示すごとく、円柱状の巻取胴にストリップを巻取り後巻取胴を収縮せしめてコイルを抜

* 日立製作所日立工場



第1図 広幅鋼用可逆式四重冷間圧延機



第2図 可逆式冷間圧延機説明図

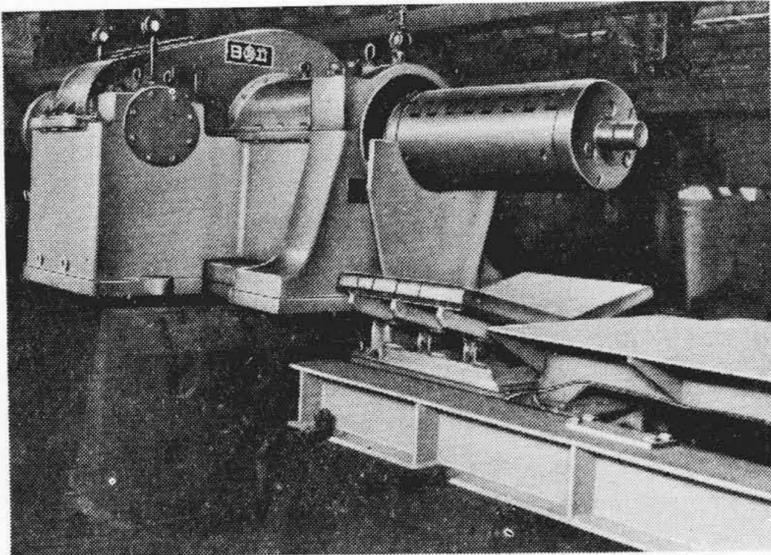
取るものである。巻取胴の構造には色々な種類がありそれぞれの使用条件に適した型式のものを選ぶ。今代表的な一、二の巻取胴断面を示せば第4図のごとくである。

〔III〕 理 論

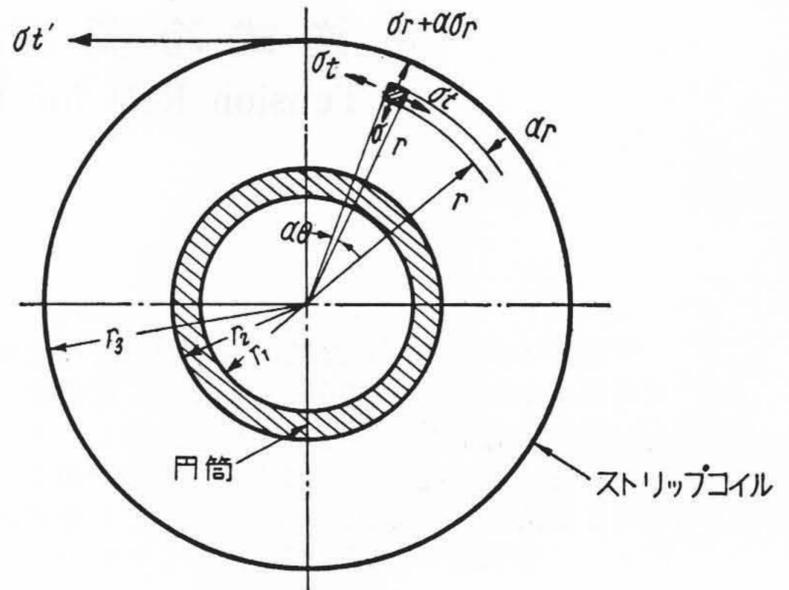
まず巻取胴にストリップを巻取った時に生ずる巻締力を求め、次に巻取胴の応力分布を調べる。

(1) 巻 締 力

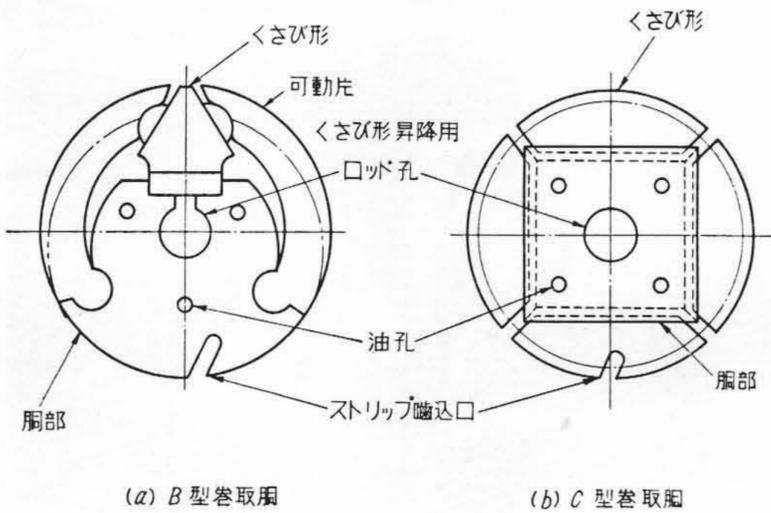
ストリップにテンションを与えながら巻取ると、ス



第3図 引張巻取機



第5図 巻締状態

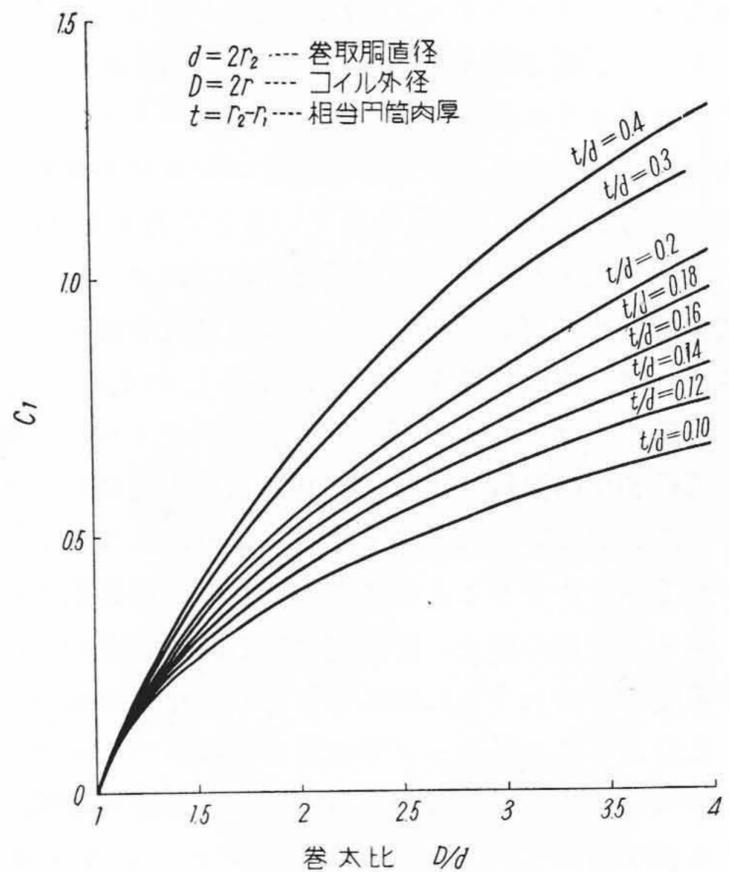


第4図 巻取胴断面

トリップによつて巻取胴外周に巻締力が生ずることは前に述べたが、その値はテンション、コイルの大きさ、および巻取胴の構造によつて決まる。まずB型巻取胴にては、巻締力によつて可動片および胴部がたわみ、あるいは圧縮されて、わずかに半径方向に変位を生ずる。今これと同一巻締力によつて同一平均半径変位を生ずる円筒(これを相当円筒と名づける)を求め、これにストリップを巻取の場合に生ずる巻締力を求める。巻取胴の構造が複雑であり、かつ巻取胴の種類によつて相当円筒を求める理論式が異なりまた複雑であるので、ここでは省略するが、今巻取胴を相当円筒に換算して、これに巻取られるストリップの層を連続体と考え相当円筒表面における巻締力を求めると(1)式のごとくなり、この場合のコイル内表面の接線方向のストリップの応力は(2)式にて示される。

$$\sigma_r = - \int_{r_2}^{r_3} \frac{r_2^2 - r_1^2}{r_2^2} \cdot \frac{r}{r^2 - r_1^2} \cdot \sigma_t' \cdot dr$$

$$= - \frac{\sigma_t'}{2} \cdot \frac{r_2^2 - r_1^2}{r_2^2} \cdot \log_e \frac{r_3^2 - r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \dots \dots \dots (1)$$



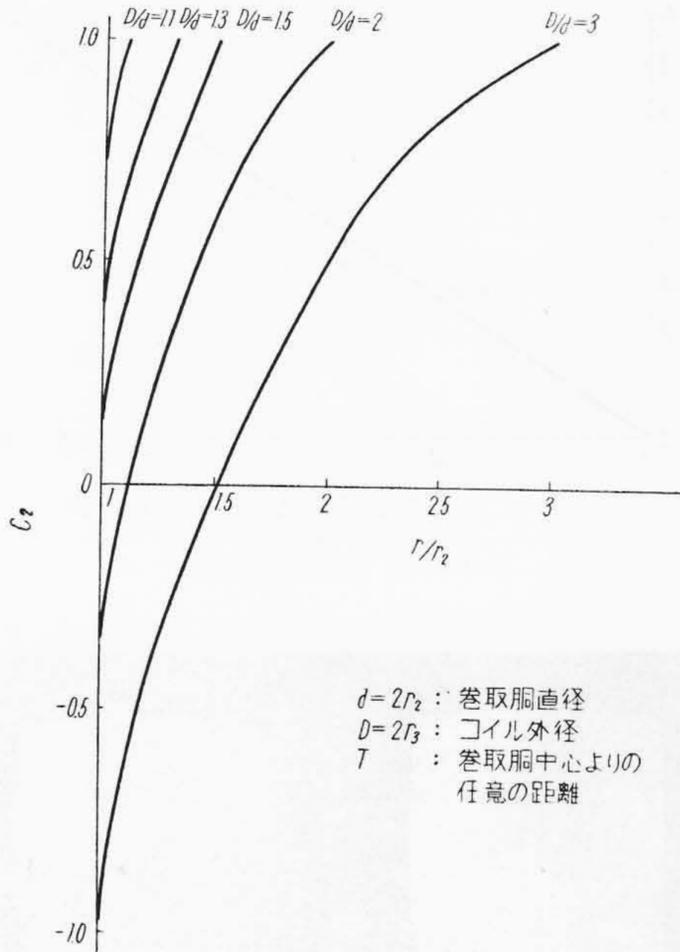
第6図 巻締係数 C1

$$\sigma_t = \sigma_t' \int_{r_2}^{r_3} \frac{r_2^2 + r_1^2}{r_2^2} \cdot \frac{r}{r^2 - r_1^2} \cdot \sigma_t' \cdot dr$$

$$= \sigma_t' \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{r_2^2 + r_1^2}{r_2^2} \cdot \log_e \frac{r_3^2 - r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \right) \dots \dots \dots (2)$$

- ここに σ_r : 巻締力 (kg/mm²)
- σ_t : ストリップ応力 (kg/mm²)
- σ_t' : ストリップのテンション (kg/mm²)
- r_1 : 相当円筒内半径 (mm)
- r_2 : 相当円筒外半径(巻取胴外半径) (mm)
- r_3 : コイル巻太半径 (mm)

巻締力 σ_r によつて巻取胴は周囲より強力な圧力を受けることになり、またストリップ応力 σ_t があまり大きな圧縮応力になるとコイルを巻取胴より抜出す場合にコイ



第7図 ストリップ応力係数 C_2

$d = 2r_2$: 巻取胴直径
 $D = 2r_3$: コイル外径
 r : 巻取胴中心よりの任意の距離

ル内部がバックリングを起し、製品の品質、歩留、作業能率の低下をきたす。今 (1), (2) 式を簡単に次のごとくおく、

$$\sigma_r = C_1 \cdot \sigma_t' \dots\dots\dots (3)$$

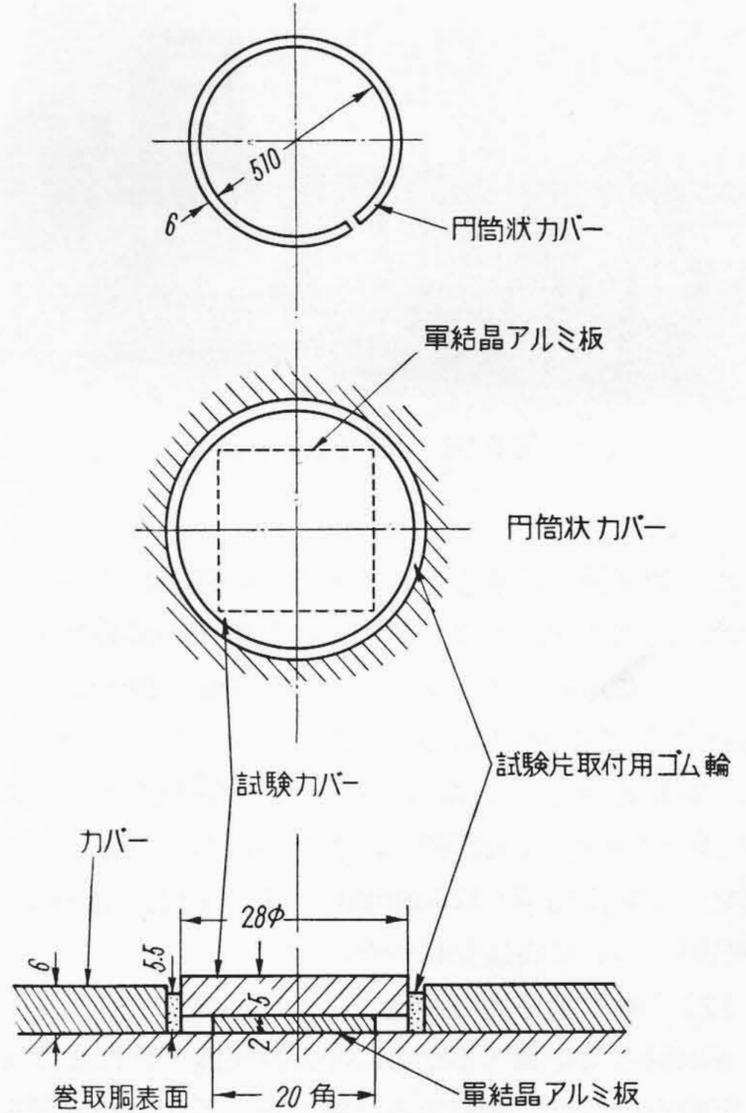
$$\sigma_t = C_2 \cdot \sigma_t' \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 C_1, C_2 はそれぞれ r_1, r_2, r_3 により定まる係数である。すなわち相当円筒の形状およびコイルの巻太りにより定まる。 C_1 の値は第6図に示すように相当円筒が厚くなればなる程、またコイルの巻太比が大きくなる程大きくなる。すなわち、巻締力 σ_r が大きくなる。また C_2 の値は第7図に示すように巻取るコイル径が大きくなるにつれて小さくなり、さらには負の値となる。このことはコイルの接線方向応力が圧縮応力となりバックリングが起りやすくなつて好ましくない。なお巻初めのしばらくを大きなストリップテンションを与え巻取ると C_2 の値は大きくなり(負になり難くなり)バックリング防止に有効である。特にストリップ厚さが薄い時にバックリングが生じやすい。

(2) 巻取胴応力

巻取胴は非常に構造が複雑なため、比較的形狀が簡単な応力集中の影響が少ない可動片中央部応力を (5), (6) 式により求め、別に光弾性実験により求めた応力分布係数 α により、巻取胴各部応力を算定する。

$$\sigma_0 = C_3 \cdot \sigma_r \frac{r_2^2 + r_{01}^2}{r_2^2 - r_{01}^2} - C_4 \cdot \frac{M \cdot h_2}{A \cdot e \cdot r_2} \dots\dots\dots (5)$$



第8図 単結晶アルミ板取付状態

$$\sigma_1 = \frac{2 \cdot C_3 \cdot \sigma_r \cdot r_2^2}{r_2^2 - r_{01}^2} + C_4 \cdot \frac{M \cdot h_1}{A \cdot e \cdot r_1} \dots\dots\dots (6)$$

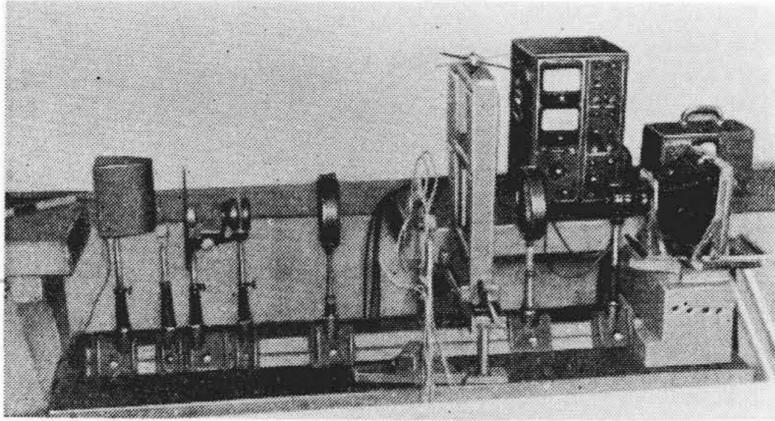
- ここに σ_0 : 可動片外表面応力 (kg/mm²)
 σ_1 : 可動片内表面応力 (kg/mm²)
 C_3, C_4 : それぞれ可動片、楔部のあいだの摩擦係数および巻取胴構造より定まる係数
 r_{01} : 可動片内半径 (mm)
 r_2 : 可動片外半径 (相当円筒外半径におなじ) (mm)
 M : 可動片に加わるモーメント (kg-mm)
 A : 可動片軸方向断面積 (mm²)
 e : 可動片均半径と中立軸との差 (mm)
 h_1, h_2 : 可動片中立軸から内外表面までの距離 (mm)

またC型巻取胴にては、直接光弾性実験より求めた応力分布係数により応力を求める。

〔IV〕 測定装置および測定法

(1) 巻締力の測定

巻取胴にストリップコイルを巻取つた場合に生ずる巻締力を測定するために、単結晶アルミ板を巻取胴表面に取付け、その巻締力によつて圧潰する変形量によつて求



第 9 図 直交円偏光装置

めた。第 8 図に示すように、巻取胴に円筒状カバーを取付け、円周方向、および軸方向に数箇所の測定箇所を設けてこれに単結晶アルミ板(板厚 2mm×20mm 角)を図のように取付け直接ストリップを巻取り実験を行つた。巻取条件としては、厚さ 2 mm 軟鋼板を 5 パスによつて 0.308 mm まで圧延し、各パスにおけるストリップテンションは約 5~12 kg/mm² であり巻太比は約 1:3 の範囲について実験を行つた。

(2) 巻取胴応力の測定

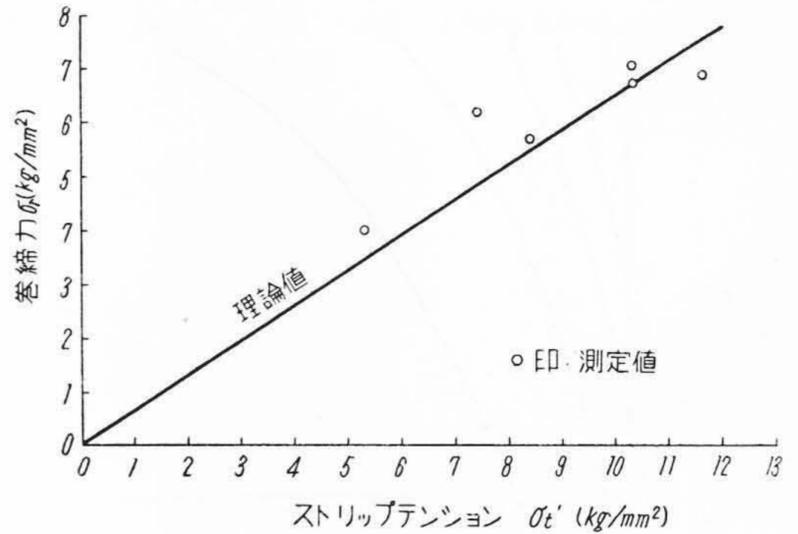
巻取胴応力を調べるために光弾性実験⁽⁴⁾⁽⁵⁾によりモデル実験を行つた。実験装置は第 9 図に示す直交円偏光装置を使用し、光源は水銀燈を用い Wratten No. 77 フィルタによつて $\lambda=5,461\text{\AA}$ の緑色光を得た。試験片は板厚 6 mm のフェノライト板を用いて、各種巻取胴と相似の試験片を作り、厚さ 0.25 mm のストリップにて試験片周囲を巻き付け巻締力を与えた。なお巻締力はストリップの応力をストレンメータにて測定し算出して求めた。

また油孔そのほかの切欠きの影響をも調べるため種々の形状について行つた。

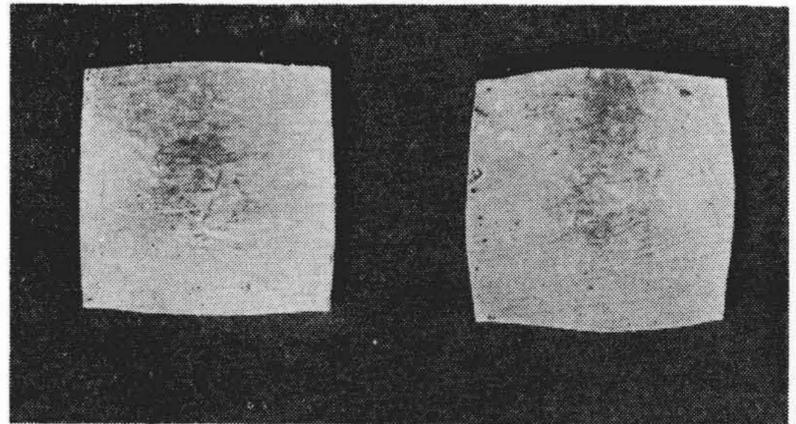
[V] 実 測 例

(1) 巻 締 力

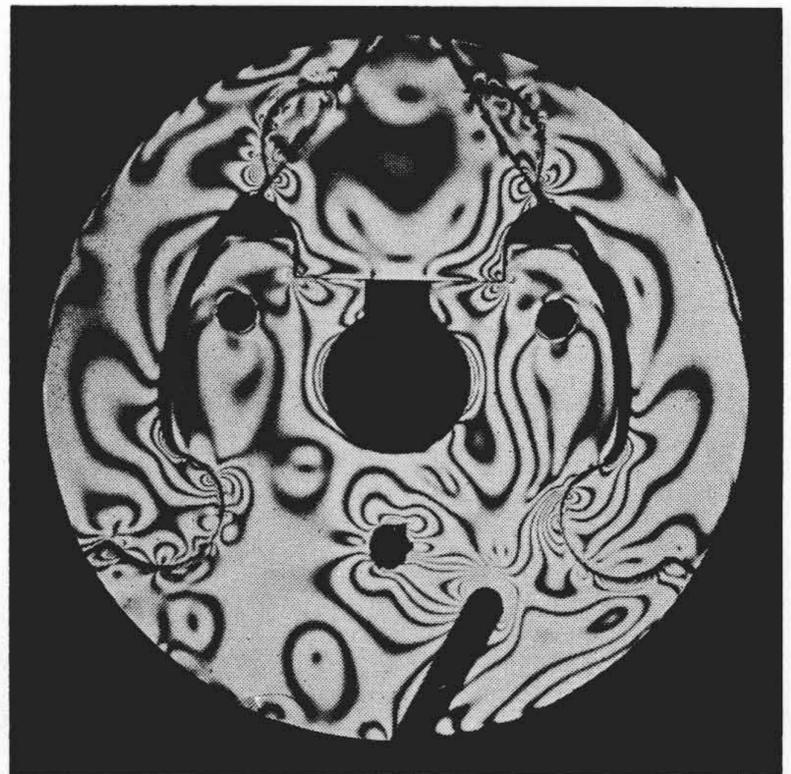
単結晶アルミ板による巻締力測定結果の一例を第 10 図に理論値とともに示す。なお測定値○印は円周方向、軸方向各箇所の測定側の平均値を示す。本実験においては円周方向、軸方向とも、巻締力の分布はほとんど一様と見做しうる程度であつた。第 10 図は胴径 510mm の B 型巻取胴に 1,420mm 巻太までのストリップテンション σ_t' を一様にして巻取つた場合の値であり、大体測定値と理論値は一致した結果が得られた。また単結晶アルミ板の測定後圧潰状態の一例を第 11 図に示す。本実験範囲では 5~15% の板厚減少をみた。次に、(3) 式および第 6 図においてわかるように巻締力は巻取胴の型式によつて異なるが、たとえば相当円筒の肉厚比 $t/d=0.135$ および $t/d=0.35$ の胴径 510mm の巻取胴にストリップテン



第 10 図 巻締力測定値

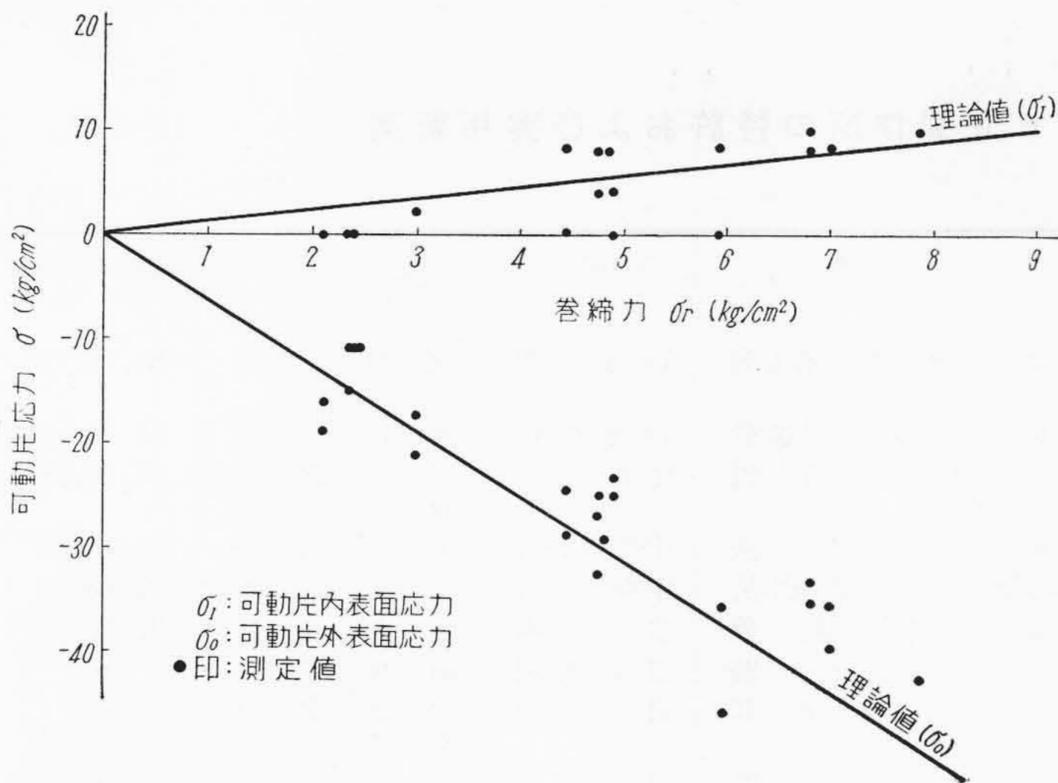


第 11 図 単結晶アルミ板試験片圧潰状態 (実物大)



第 12 図 光弾性写真一例

ション $\sigma_t'=15\text{kg/mm}^2$ で外径 1,500mm まで一様に巻取つた場合の巻締力を計算すると、前者で $\sigma_r \approx 11\text{kg/mm}^2$ 、後者は $\sigma_r \approx 15\text{kg/mm}^2$ となり同一条件でストリップを巻取つてもいかに巻取胴の構造によつて巻締力の値が異なるかがわかる。したがつて巻取胴の強度が許す限り相当円筒肉厚を薄くすることが巻取胴開閉装置の点からは望ましいが巻取胴の強度上おのずから制限を受ける。



第13図 可動片中央部応力 (フェノライト板)

(2) 巻取胴応力分布

巻取胴各部の応力分布について行つた光弾性写真の一例を第12図に示す。同様な光弾性実験によつて各種巻取胴の応力分布を調べ応力分布係数を求めた。また光弾性実験により得られた可動片中央部応力と(5),(6)式による理論値の比較を第13図に示す。これより大体実験値と理論値は近似していることがわかる。したがつて(5),(6)式により可動片中央部応力を求め、実験より求めた応力分布係数を乗ずれば巻取胴各部応力が算出される。可動片回転部の凹部には可成り応力集中が起つていることがわかり、多くの実験結果よりこの部の半径の大小が応力集中の程度に意外に大きく影響を与えることがわかつた。なおストリップ嚙込口切欠形状は実際の巻取胴の形状のモデル化を簡単にしたので光弾性写真については非常に大きな応力集中が起つていように見えるが、ほかの実験により、これ程大きくない値であることが確められた。

以上により、巻取胴にストリップコイルを巻取の場合に生ずる巻締力と、それに基く巻取胴応力分布があきらかになり、また巻締力を小さくするには相当円筒肉厚を薄くすることが必要であり、一方相当円筒を薄くすれば巻取胴応力が高くなり好ましくないことがわかつた。かかる二つの相反する条件の中で適当な相当円筒そして巻取胴形状を決定することが必要である。

〔VI〕 結 言

以上巻取胴の巻締力と応力分布について若干の理論と測定例について述べた事柄を要約すれば次のごとくなる。

- (1) 巻取胴の相当円筒を求め(1)式により巻締力を算出し、(5),(6)式により可動片中央部応力を求め、さらに光弾性実験によりえられた応力分布係数により各部応力を知ることができる。
- (2) 相当円筒が厚い程、巻太比が大きい程、そしてテンションが大きい程巻締力は大きくなる。したがつて巻取胴開閉装置そのほかの点より巻締力は小さいことが望ましいが、相当円筒肉厚を薄くすると巻取胴応力が高くなるので自から制限を受ける。
- (3) ストリップ内部のバックリングについては巻太比が大きくなる程起りやすくなり、これを防ぐにはストリップの巻初め部分に大きなテンションを与えることが有効である。

- (4) 巻取胴各部の応力集中を少なくするために切欠部形状は曲率を小さくし、また滑らかな加工を行うことが大切である。

終りに臨み、本研究に種々御指導賜つた九州大学工学部石橋教授ならびに実験に御協力頂いた同教室内堀氏に対し、また、本実験に心よく実験の機会を与えられ、かつ御協力頂いた日本鉄板大阪工場佐々木技術課長、川口製造課長はじめ関係各位に厚く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) H. Ford, D.R. Bland: Cold Rolling with Strip Tension, Journal of the Iron and Steel Institute (1951 May, 1952 July, 1952 Nov.)
- (2) 橘川, 山本: 日立評論 37 881 (1955-6)
- (3) 桑原康長: 鉄鋼の冷間圧延
- (4) 鶴戸口英善: 日本機械学会誌 57 430 (1954-6)
- (5) Coker & Filon: A Treatise on Photo-Elasticity (1931)

訂 正

本誌別冊第17号「照明特集号」(昭和31年11月発行)掲載の「点灯管について」の論文中下記のごとく誤りがありましたので訂正致します。 —編集部—

訂正箇所	誤	正
P43 右側 下より2行目	電管が十分開離し...	電極が十分開離し...
P45 第9図図説	第9図並列コンデンサ容量の変化...	第10図並列コンデンサ容量の変化...
P45 第10図図説	第10図並列コンデンサ容量と動作...	第9図並列コンデンサ容量と動作...
P49 左側 下から8行目	種々複雑な問題こを含み...	種々複雑な問題を含み...
P49 左側 下から7行目	れら個々の...	これら個々の...



特 許 と 新 案



最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その3)

(第24頁より続く)

区 別	登録番号	名 称	工場別	氏 名	登録年月日
特 許	225785	上昇回転型ラインファインダにおける上昇制動切換方式	戸塚工場	北 村 敏	31.10. 5
"	225787	衝撃の方向と強さを測定する記録装置	戸塚工場	西 口 薫	31.10. 5
"	225904	任意函数波発生装置	中央研究所	三 浦 武雄	31.10. 6
"	226576	超微粉黒鉛製造方法	中央研究所	池 上 和 一	31.10.26
特 許	226604	鉄鋼その他中のCr含有量鑑別法	中央研究所	牟 田 明 徳	31.10.26
実用新案	451194	端子盤電線接続装置	日立工場	栗 田 常 雄	31.10. 2
"	451195	乾式変圧器	日立工場	金 井 好 延	"
"	451196	変圧器ジャッキ受金具	日立工場	前 川 愛 一	"
"	451197	単極水銀整流器	日立工場	沢 宮 寅 治	"
"	451199	電力蓄電器比較保護装置	日立工場	石 垣 喜 重 郎	"
"	451205	給水装置	日立工場	池 田 正 一 郎	"
"	451206	並設電磁接触器互錠装置	日立工場	深 照 俊 一 夫	"
"	451207	直流電磁接触器	日立工場	白 須 土 田 忠 治	"
"	451209	高圧回路自動制御装置	日立工場	白 須 土 田 忠 治	"
"	451210	電気車用電気空気併用制動自動制御装置	日立工場	橋 本 早 清 典	"
"	451211	ガスタービン調速装置	日立工場	平 野 憲 一 三	31.10. 2
"	452665	電気車制御用限流継電器	日立工場	岩 間 村 正 昇 夫	31.10.26
"	452669	軸箱内受金支持装置	日立工場	高 小 栗 正 定 一 光	"
"	452671	ポンプ駆動装置	日立工場	小 平 野 重 幸 三	"
"	452676	スチームストレーナ	日立工場	桑 野 野 幸 三	"
"	452677	電力用蓄電器短絡保護装置	日立工場	池 田 正 一 郎	"
"	452680	変圧器油構	日立工場	松 村 亀 男 義 典	31.10.26
"	452681	遠心力開閉器	日立工場	小 野 崎 千 代 一	31.10.27
"	452682	遠心力開閉器	日立工場	本 間 千 代 一	"
"	452783	箱入制限開閉器	日立工場	本 間 千 代 一	"
"	452687	圧力型脱気器	日立工場	大 渡 島 進 一 彦	"
"	452688	タップ切換器付変圧器	日立工場	大 渡 島 辺 政 一 巳	"
"	452694	タップ切換器付乾式変圧器	日立工場	滑 川 清 亮	"
"	452695	反応槽軸封装置	日立工場	安 島 賢 亮	"
"	452696	高温高圧反応槽用軸封装置	日立工場	安 島 賢 亮	"
"	452697	軸封装置	日立工場	安 島 賢 亮	"
"	452699	自動昇圧器の調比装置	日立工場	前 川 愛 一 巳	"
"	452700	カム接触器	日立工場	前 川 愛 一 巳	"
"	452701	タップ切換器付変圧器	日立工場	渡 辺 政 隆 一 巳	"
"	452702	二種の電圧に切換え使用する電力蓄電器	日立工場	村 山 中 隆 敬 三	"
"	452706	鑄造用模型	日立工場	山 相 原 好 三 郎	"
"	452707	接地刷子用摺動面を備えたる車軸	日立工場	佐 々 木 義 之 雄	"
"	452709	ガスタービン調速装置	日立工場	一 木 利 静 哉	"
実用新案	452710	カム切換装置	日立工場	和 田 貝 名 敬 隆 吾	31.10.27

(第38頁へ続く)