

ロープの多層巻きにより巻胴が受ける外圧

External Pressure Produced by the Multi-layers of Rope wound about the Hoisting Drum

江 川 正* 種 田 元 治*

Tadashi Egawa Motoharu Taneda

内 容 梗 概

巻胴に張力を有するロープを何層にも巻付けた場合に、巻胴の受ける外圧が巻層数とともにいかに増加してゆくかを正確に知るために、筆者らは理論的ならびに実験的検討を行つた。理論計算は巻胴に一定張力のロープを巻付けた場合および実際の巻上機におけるごとく巻取りとともにロープ張力が減少してゆく場合の二者について行つた。実験は模型巻胴に一定張力のロープを巻付けた場合について巻胴内面に生ずる歪を測定して8層巻まで行つた。筆者らの研究範囲では理論と実験結果はよく一致した。巻層数に対する巻胴外圧の増加の割合は巻胴の剛性が強いほどまたロープの弾性係数が小さいほど大きくなり、逆の場合には小さくなる。また従来用いられていた Waters 氏の値は筆者らの結果より小さく、巻胴の設計上危険側にある。

〔I〕 緒 言

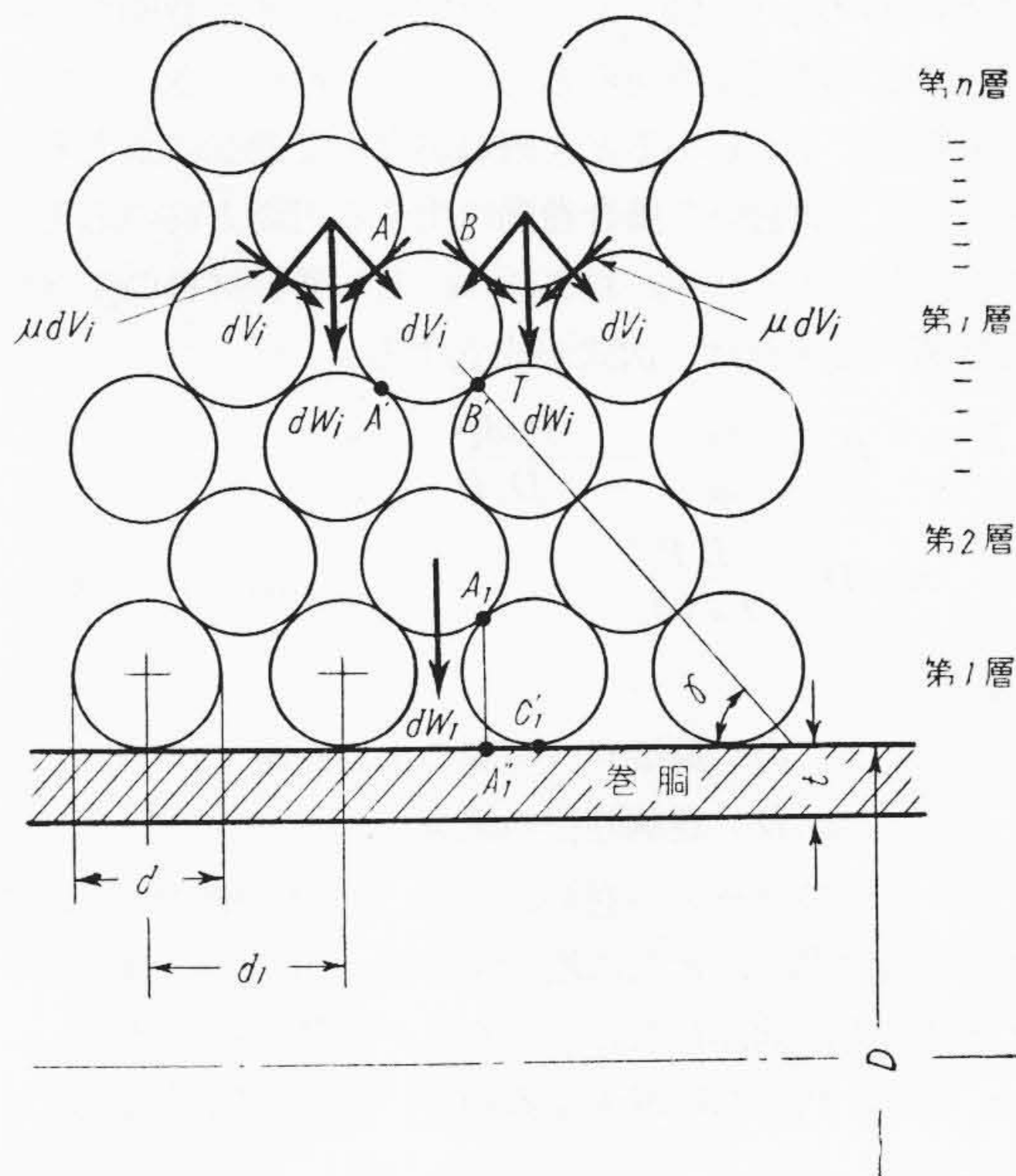
炭坑用の巻上機のごとく巻胴にロープがある張力で多層巻きされる場合に巻胴が受ける外圧に関しては文献はほとんどなく、筆者らの知りえた範囲ではやや信頼しうるものとして Waters 氏の論文⁽¹⁾がある。しかし同氏の論文には理論的に算出したと思われる数値が掲げてあるが理論式は示してない。同氏によれば4層以上ロープを巻いても巻胴の受ける外圧はほとんど増加していない。この点について究明する必要があると思われたので、理論的な検討を試みるとともに模型巻胴にロープを巻付けて実験を行い、巻層数の増加するにしたがつて巻胴に加わる外圧がいかに変化するかをあきらかにし、Waters 氏の数値と異なる結果を得たのでここに報告する次第である。

〔II〕 理 論 的 検 討

(1) 一定張力 P でロープを巻胴に巻付けた場合

一般に巻胴にロープを多層巻付ける場合、第2層以上のロープはその下層の隣接ロープ間の溝に入りこみながら巻かれてゆくの第1図に示すような状態となる。初め P なる張力で巻かれた第1層ロープは次に同じ張力 P で巻かれた第2層ロープにより締め付けられておしつぶされる。さらにまた巻胴も変形してその外半径を減ずるので、結局第1層ロープの中心線の巻半径は減少する。この結果巻胴に巻かれた第1層ロープはその伸び量を減少するのでその張力を減じ、したがって巻胴を締め付ける力を減ずる。今この第2層目のロープが巻かれたために生ずる第1層ロープの張力の減少量を $P_{1.2}$ で表わせれば、第2層、第1層のロープ張力はそれぞれ P 、 $P - P_{1.2}$ となる。一般に第 i 層目 ($i = 1, 2, \dots$) のロープが巻かれたときそのロープの張力はあきらかに P である。次に第

* 日立製作所亀有工場



第1図 上層ロープの下層ロープに及ぼす力

第1表 各層のロープ張力

$i \backslash n$	1層巻	2層巻	3層巻		n 層巻
第1層ロープの張力	P	$P - P_{1.2}$	$P - P_{1.2} - P_{1.3}$		$P - P_{1.2} - P_{1.3} - P_{1.n}$
第2層ロープの張力		P	$P - P_{2.3}$		$P - P_{2.3} - P_{2.4} - P_{2.n}$
第3層ロープの張力			P		$P - P_{3.4} - P_{3.5} - P_{3.n}$
.....					
.....					
第 $(n-1)$ 層ロープの張力					$P - P_{(n-1).n}$
第 n 層ロープの張力					P

($i + 1$) 層目を巻いたために第 i 層ロープの張力が減少する量を $P_{i.(i+1)}$ と表わし、つぎつぎにロープ巻層を増して ($i + 2$), ..., ($n - 1$), n 層とすると第 i 層

ロープの張力が減少する量を $P_{i,(i+2)}, \dots, P_{i,(n-1)}, P_{i,n}$ と表わすこととすれば, 第 n 層目のロープが巻かれた場合の第 i 層ロープの張力は

$$P - P_{i,(i+1)} - P_{i,(i+2)} - \dots - P_{i,(n-1)} - P_{i,n}$$

となる。すなわち一般に第 1 表のごとくなる。ロープを n 層巻いた場合に巻胴が受ける外圧は, 同表における n 層巻の場合の 1 層より n 層までの各ロープ張力による外圧の総和である。したがってロープを n 層巻いた場合に巻胴が受ける外圧と 1 層巻いた場合に受ける外圧との比は n よりは当然小さくなるが, 今この比を巻層係数と名付け, 以下にこれを求める。

今巻胴の肉厚 t が外径 D に比し十分小さく肉厚方向の応力勾配はないものと考え, また巻胴には軸方向に外力が働かず, ロープ張力によつて巻胴に加わる外圧は巻胴の全表面に均一に働くものと仮定する。また巻胴の半径方向の応力は円周方向の応力に比し一般に小さいのでこれを無視する。しかるとき両端が自由な巻胴に張力 P のロープを 1 層巻いた場合巻胴に生ずる円周方向の応力および歪をそれぞれ σ_y および ε_y とし巻胴材料の弾性係数を E_a とすれば, 次式が成立する。

$$E_a = \frac{\sigma_y}{\varepsilon_y} = \frac{-P/t d_1}{-\Delta D/D}$$

$$\therefore \Delta D = \frac{D P}{E_a t d_1} \dots \dots \dots (1)$$

ただし

d_1 : 隣接ロープ間の中心距離

ΔD : 巻胴外径の減少量

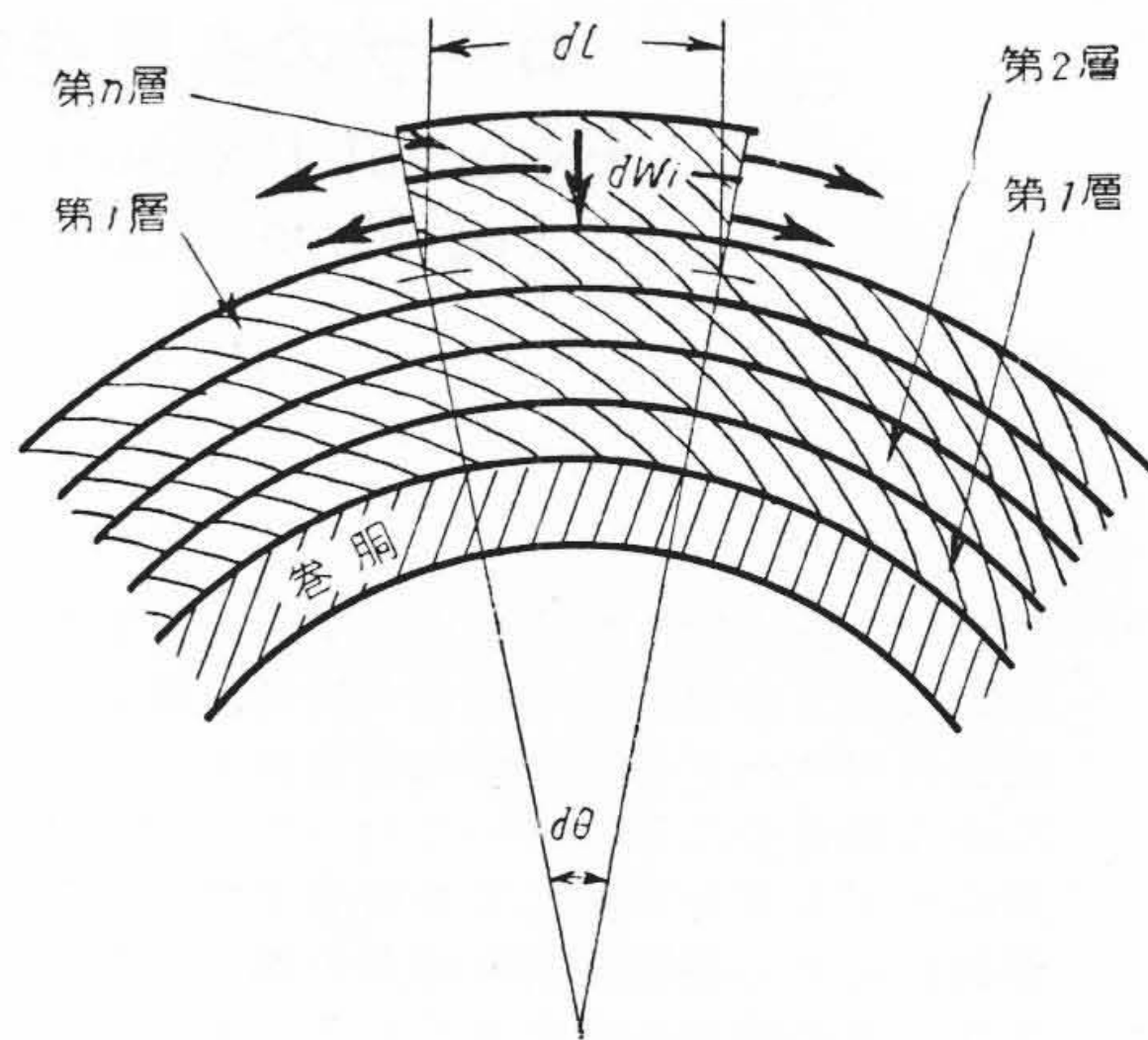
今第 n 層目のロープが巻かれると, 巻胴を締付ける力はロープ張力 P だけ新たに増加するが, $(n-1)$ 層以下のロープ張力は前述したごとくそれぞれ $P_{(n-1),n}, P_{(n-2),n}, \dots, P_{1,n}$ だけ減少するので, 巻胴の締附力の増加量は結局

$$P - P_{1,n} - P_{2,n} - \dots - P_{(n-1),n}$$

となる。したがって第 n 層目のロープを巻いたための巻胴直径の減少量を $2\xi_{0,n}$ とすれば, $\xi_{0,n}$ は (1) 式において P の代りに上記の値を用いまた ΔD の代りに $2\xi_{0,n}$ を用いて次のごとく求められる。

$$\xi_{0,n} = \frac{D(P - P_{1,n} - P_{2,n} - \dots - P_{(n-1),n})}{2E_a t d_1} \dots \dots \dots (2)$$

次に第 2 図に示すごとく巻胴の中心角 $d\theta$ 内に含まれているロープの微小長さを dl とする。第 i 層ロープの上に巻かれた第 $(i+1)$ 層, 第 $(i+2)$ 層, $\dots$, 第 n 層などの各ロープ部分 dl の両端に働く張力の合力は半径方向の力となり, これら各層の半径方向力の総和が第 i 層のロープに作用することになる。今第 $(n-1)$ 層まで巻かれているときさらに第 n 層目を巻くと, このロー



第 2 図 ロープ張力によつて生ずる力

プ張力は P であるからこのための半径方向力 $2P \sin \frac{d\theta}{2}$ が新たに加わる。しかるに第 $(n-1)$ 層以下の各ロープ張力はそれぞれ $P_{(n-1),n}, P_{(n-2),n}, \dots, P_{(i+1),n}$ だけ減少するをもつて, 各層の半径方向力はそれぞれ $2P_{(n-1),n} \sin \frac{d\theta}{2}, 2P_{(n-2),n} \sin \frac{d\theta}{2}, \dots, 2P_{(i+1),n} \sin \frac{d\theta}{2}$ だけ減少することになる。したがって第 n 層目のロープを巻いたために第 $(i+1)$ 層ロープの dl 部分から第 i 層ロープの dl 部分に加わる半径方向力の増加 dW_i は次のようになる。

$$dW_i = 2(P - P_{(i+1),n} - P_{(i+2),n} - \dots - P_{(n-1),n}) \times \sin \frac{d\theta}{2}$$

$$\doteq (P - P_{(i+1),n} - P_{(i+2),n} - \dots - P_{(n-1),n}) \times d\theta \dots \dots \dots (3)$$

この力 dW_i は第 i 層の隣接した二巻きのロープにおのおの二分されて加わり, さらにそれらの各ロープに加わる力は第 1 図に示すごとくロープ中心方向の力 dV_i とそれに直角な方向の摩擦力 μdV_i (μ はロープとロープの間の摩擦係数) とに分解して考えうる。今これらの力 $dV_i, \mu dV_i$ の合力を, 巻胴半径方向の力 dW_i' と巻胴軸方向の圧縮力 dW_i'' とに分解する。しかるとき dW_i', dW_i'' は第 1 図より次のようになる。

$$dW_i' = \frac{dW_i}{2} = \frac{1}{2}(P - P_{(i+1),n} - P_{(i+2),n} - \dots - P_{(n-1),n}) d\theta \dots \dots \dots (4)$$

$$dW_i'' = dV_i (\cos \gamma - \mu \sin \gamma) = \frac{dW_i}{2} \times \frac{\cos \gamma - \mu \sin \gamma}{\sin \gamma + \mu \cos \gamma}$$

$$= \frac{1}{2}(P - P_{(i+1),n} - P_{(i+2),n} - \dots - P_{(n-1),n}) d\theta \cot(\gamma + \delta) \dots \dots \dots (5)$$

ただし

γ : 第1図に示すごとく相接する二つの層の
 ロープの中心を結ぶ線と巻胴軸とがなす
 角度

$$\mu = \tan \delta$$

上述のようにこの力 dW'_i , dW''_i はそれぞれ第1図に
 おける A, B 点に作用し, 一方また A', B' 点には dW'_{i-1} ,
 dW''_{i-1} が作用する。今計算を簡単にするために dW'_i と
 dW'_{i-1} および dW''_i と dW''_{i-1} とを近似的に等しいと考
 えれば, 第 i 層ロープは第3図(a)に示す状態で力を受
 けることになる。ただし第1層($i=1$ の場合)ロープは
 第1図に示す C'_1 点でのみ巻胴に接しており巻胴からは
 軸方向の力を受けないから, 第3図(b)に示す状態で力
 を受けることになる。なおロープが密接して巻かれた場
 合($d_1=d$, d はロープ直径)には同じ層の隣接ロープか
 ら巻胴軸方向に力の影響を受けることもありうるが, こ
 の影響は無視する。

次に上記の力 dW'_i , dW''_i によるロープ断面の変形に
 による各層ロープの巻半径の減少量を求める。

第3図(a)に示す C, C' 点に圧縮力を加えた場合,
 ロープの単位長さあたりの圧縮力とその方向におけるロ
 ープ直径の減少量との比を E'_r と表わす。今 C, C' 点
 において巻胴半径方向に力 $2dW'_i$ ($i \neq 1$) が作用する
 ものとすれば, 第 i 層ロープ断面の直径 CC' の減少量は
 $\frac{1}{E'_r} \frac{2dW'_i}{dl}$ となる。弦 AA' が縮む量 $\xi'_{i,n}$ は近似的に
 この値に $AA'/CC' = \sin \gamma$ を乗じたものと仮定すれば,

$$\xi'_{i,n} = \frac{\sin \gamma}{E'_r} \frac{2dW'_i}{dl} \dots\dots\dots (6)$$

となる。しかるに

$$dl = [D/2 + \{1/2 + (i-1)\sin \gamma\}d]d\theta \dots\dots\dots (7)$$

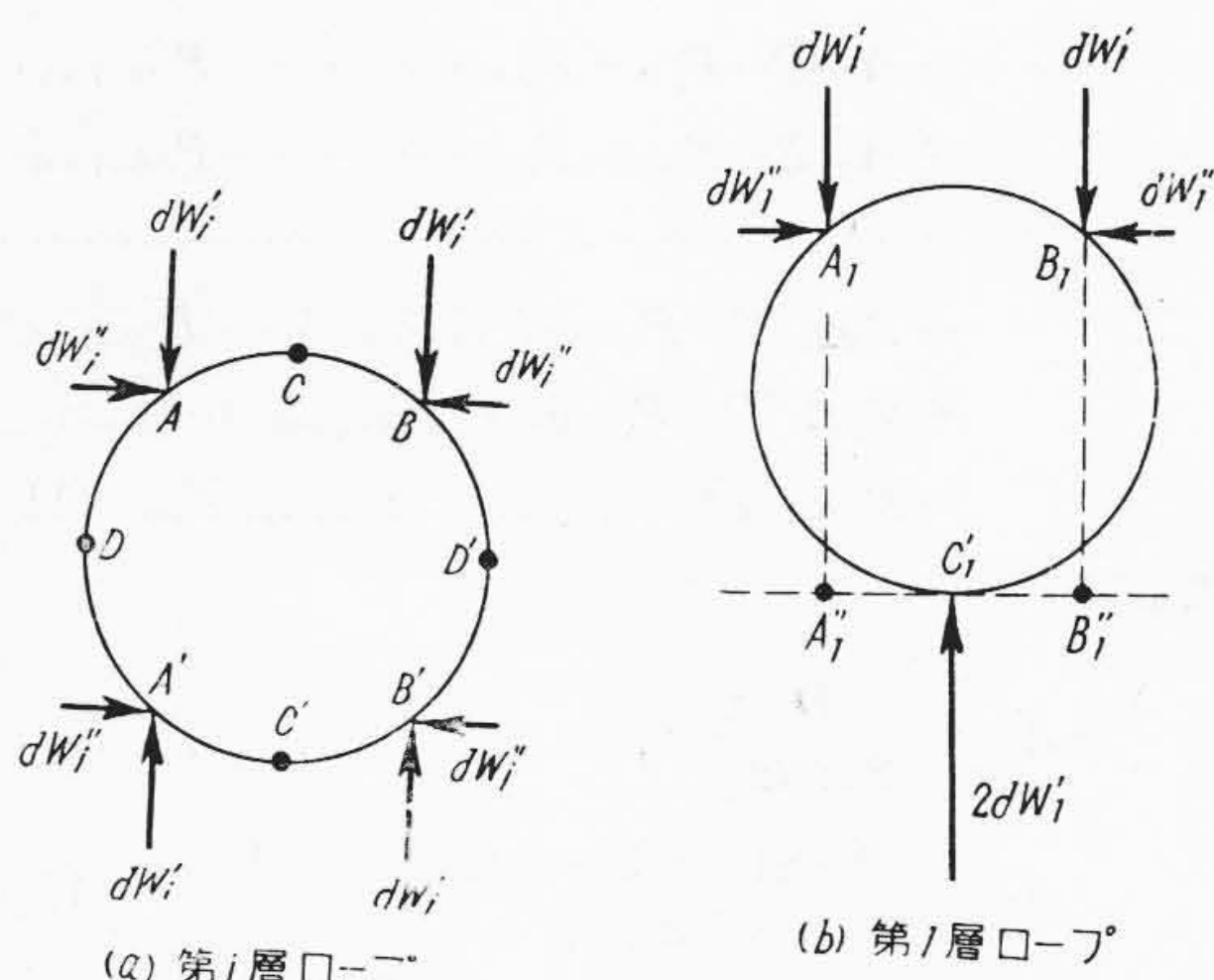
であるから上式と(4)式とを(6)式に代入すれば,

$$\begin{aligned} \xi'_{i,n} &= \frac{2 \sin \gamma}{E'_r} \\ &\times \frac{P - P_{(i+1),n} - P_{(i+2),n} - \dots - P_{(n-1),n}}{D + \{1 + 2(i-1)\sin \gamma\}d} \\ &\dots\dots\dots (8)_a \\ &\text{(ただし } i \neq 1) \end{aligned}$$

となる。 $i=1$ の場合力 dW'_1 , dW''_1 などは第3図(b)
 のように作用するから, 上記の一般の場合と異り $A_1A''_1$
 の縮む量 $\xi'_{1,n}$ は次式のようになる。

$$\begin{aligned} \xi'_{1,n} &= \frac{1 + \sin \gamma}{2E'_r} \frac{2dW'_1}{dl} \\ &= \frac{1 + \sin \gamma}{E'_r} \frac{P - P_{2,n} - P_{3,n} - \dots - P_{(n-1),n}}{D + d} \\ &\dots\dots\dots (8)_b \end{aligned}$$

次に dW''_i ($i \neq 1$) なる2力によつてこれと直角方向
 の AA' が伸びる量 $\xi''_{i,n}$ を求める。今ポアソン比に類
 似の係数, すなわち第3図(a)に示す D, D' 点に圧縮力
 を加えた場合, その力に直角な方向のロープ直径(CC')



第3図 ロープの受力状態

の増加量とその力方向のロープ直径 (DD') の減少量と
 の比を ν_r とする。 $\xi''_{i,n}$ は近似的に $2dW''_i$ により長さ
 AB の縮む量 $\frac{1}{E'_r} \frac{2dW''_i}{dl} \frac{AB}{DD'}$ に $\nu_r \frac{AA'}{AB}$ を乗
 じたものと仮定すれば,

$$\xi''_{i,n} = \nu_r \frac{AA'}{AB} \frac{AB}{DD'} \frac{1}{E'_r} \frac{2dW''_i}{dl} \dots\dots\dots (9)$$

となる。上式の dW''_i および dl に(5)および(7)式を
 代入すれば次のようになる。

$$\begin{aligned} \xi''_{i,n} &= \frac{2 \nu_r \sin \gamma}{E'_r} \\ &\times \frac{(P - P_{(i+1),n} - P_{(i+2),n} - \dots - P_{(n-1),n}) \cot(\gamma + \delta)}{D + \{1 + 2(i-1)\sin \gamma\}d} \\ &\dots\dots\dots (10)_a \\ &\text{(ただし } i \neq 1) \end{aligned}$$

$i=1$ の場合は上記の一般の場合と異り $A_1A''_1$ の伸びる
 量 $\xi''_{1,n}$ は次のようになる。

$$\begin{aligned} \xi''_{1,n} &= \frac{\nu_r (1 + \sin \gamma)}{2E'_r} \frac{dW''_1}{dl} \\ &= \frac{\nu_r (1 + \sin \gamma)}{2E'_r} \\ &\times \frac{(P - P_{2,n} - P_{3,n} - \dots - P_{(n-1),n}) \cot(\gamma + \delta)}{D + d} \\ &\dots\dots\dots (10)_b \end{aligned}$$

ロープがその半径方向に力を受けた場合ロープ長さも
 変化すると考えられるが, これは一般に小さいと推定さ
 れるので省略すれば, 第 i 層ロープの巻半径の減少量に
 直接関係する量は以上の $\xi_{0,n}$; $\xi'_{1,n}$, $\xi'_{2,n}$, $\dots$, $\xi'_{i,n}$ お
 よび $\xi''_{1,n}$, $\xi''_{2,n}$, $\dots$, $\xi''_{i,n}$ となる。したがつて第 n 層
 ロープによる第 i 層ロープの巻半径の減少量 $U_{i,n}$ は次
 のように表わすことができる。

$$\begin{aligned} U_{i,n} &= \xi_{0,n} + (\xi'_{1,n} - \xi''_{1,n}) + (\xi'_{2,n} - \xi''_{2,n}) + \dots \\ &\quad + (\xi'_{(i-1),n} - \xi''_{(i-1),n}) + 1/2 (\xi'_{i,n} - \xi''_{i,n}) \\ &= A_0 (P - P_{1,n} - P_{2,n} - \dots - P_{(n-1),n}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + A_1(P - P_{2,n} - P_{3,n} - \dots - P_{(n-1),n}) \\
& + A_2(P - P_{3,n} - P_{4,n} - \dots - P_{(n-1),n}) \\
& + \dots \\
& + A_{i-1}(P - P_{i,n} - P_{(i+1),n} - \dots - P_{(n-1),n}) \\
& + \frac{1}{2}A_i(P - P_{(i+1),n} - P_{(i+2),n} - \dots \\
& - P_{(n-1),n}) \dots \dots \dots (11)
\end{aligned}$$

ここに

$$A_0 = \frac{D}{2 E a t d_1} \dots \dots \dots (12)_c$$

$$A_1 = \frac{(1 + \sin \gamma) \{2 - \nu_r \cot(\gamma + \delta)\}}{2 E'_r (D + d)} \dots (12)_b$$

$$A_i = \frac{2 \sin \gamma \{1 - \nu_r \cot(\gamma + \delta)\}}{E'_r [D + \{1 + 2(i-1) \sin \gamma\} d]} \dots (12)_a$$

(ただし $i \neq 1$)

したがって巻半径の減少量 $U_{i,n}$ を生じたために第 i 層ロープ一巻きの長さが減少する量 $G_{i,n}$ は

$$G_{i,n} = 2 \pi U_{i,n} \dots \dots \dots (13)$$

となり、ある伸びをもつて巻かれていた第 i 層ロープの張力減少量 $P_{i,n}$ は、ロープの弾性係数を E_r 、ロープ断面の素線全面積を a とすれば次のとおりになる。

$$\begin{aligned}
P_{i,n} &= \frac{G_{i,n} E a}{\pi [D + \{1 + 2(i-1) \sin \gamma\} d]} \\
&= \frac{2 E a}{D + \{1 + 2(i-1) \sin \gamma\} d} \left\{ A_0(P - P_{1,n} \right. \\
&\quad - P_{2,n} - \dots - P_{(n-1),n}) \\
&\quad + A_1(P - P_{2,n} - P_{3,n} - \dots - P_{(n-1),n}) \\
&\quad + A_2(P - P_{3,n} - P_{4,n} - \dots - P_{(n-1),n}) \\
&\quad + \dots \\
&\quad + A_{i-1}(P - P_{i,n} - P_{(i+1),n} - \dots - P_{(n-1),n}) \\
&\quad + \frac{1}{2}A_i(P - P_{(i+1),n} - P_{(i+2),n} - \dots \\
&\quad \left. - P_{(n-1),n}) \right\} \dots \dots \dots (14) \\
&\quad (i = 1, 2, \dots, n-1)
\end{aligned}$$

巻胴の剛性が大きく巻胴そのものが変形しないと考えられるときには、前記の $\xi_{0,n}$ は零となるので(14)式は

$$\begin{aligned}
P_{i,n} &= \frac{2 E a}{D + \{1 + 2(i-1) \sin \gamma\} d} \\
&\times \left\{ A_1(P - P_{2,n} - P_{3,n} - \dots - P_{(n-1),n}) \right. \\
&\quad + A_2(P - P_{3,n} - P_{4,n} - \dots - P_{(n-1),n}) \\
&\quad + \dots \\
&\quad + A_{i-1}(P - P_{i,n} - P_{(i+1),n} - \dots - P_{(n-1),n}) \\
&\quad + \frac{1}{2}A_i(P - P_{(i+1),n} - P_{(i+2),n} - \dots \\
&\quad \left. - P_{(n-1),n}) \right\} \dots \dots \dots (14)' \\
&\quad (i = 1, 2, \dots, n-1)
\end{aligned}$$

となる。実際の巻胴においては、両端のドラムチーク(巻胴端面) その他補強材などの近傍では巻胴直径の変化は

小さくなっている。したがって実際の状態はおおむね上記の(14)式と(14)'式との中間にあると考えられる。巻胴の変形を考えるか否かにより(14)式あるいは(14)'式を用いて、第 n 層目を巻いたときの各層ロープ張力の減少量 $P_{1,n}$, $P_{2,n}$, $\dots$, $P_{(n-1),n}$ を求めることができる。これらを用いてロープが n 層巻かれたときの巻層係数 C_n を表わせば次のごとくなる。

$$\begin{aligned}
C_n &= C_{n-1} + \{1 - (P_{1,n}/P + P_{2,n}/P + \dots \\
&\quad + P_{(n-1),n}/P)\} \dots \dots \dots (15) \\
&\quad (\text{ただし } C_1 = 1)
\end{aligned}$$

(2) 巻胴に巻かれるときのロープ張力が漸減してゆく場合

実際の巻上機では荷物の巻上とともにロープは逐次巻胴に巻取られるため、巻取られたロープの重量分だけ荷重が減るので、巻胴に巻かれるロープの張力は漸次減少してゆく。したがってこの場合の巻層係数の値は前節の式から求めた値よりも巻層数の増加につれて小さくなるはずである。今この影響をも巻層係数の概念の中に含めることとする。

第1層目のロープが巻胴に巻かれる前のロープ張力を P で表わし、他の記号は前節と同じとしてさらに次の記号を定める。

N : ロープの最大巻層数

P_r : 最大巻取長さに相当するロープの総重量により生ずるロープ張力

$$k = P_r/P$$

計算を容易にするために、各巻層毎に巻取られるロープ長さは全層にわたり一定で、かつそれらの各層におけるロープ張力はその層の巻始めより巻終わりまで一様と考える。しかるときは巻層が一層増えるごとに巻取られるロープの張力は P_r/N だけ減少することになり、一般に第 n 層目が巻かれるときのロープ張力は

$$\begin{aligned}
P - \frac{(n-1)P_r}{N} &= \left\{ 1 - \frac{(n-1)k}{N} \right\} P \dots (16) \\
&\quad (n = 1, 2, \dots, N)
\end{aligned}$$

である。ゆえに第 n 層目が巻かれたためにその下に巻かれた各層のロープに生ずる張力の減少量は(14)式あるいは(14)'式の P の代りに(16)式の値を入れた次式により求めることができる。すなわち巻胴が全長にわたり均一に変形すると考えたときは

$$\begin{aligned}
P_{i,n} &= \frac{2 E a}{D + \{1 + 2(i-1) \sin \gamma\} d} \\
&\times \left\{ A_0 \left\{ \left(1 - \frac{(n-1)k}{N} \right) P - P_{1,n} - P_{2,n} - \dots \right. \right. \\
&\quad \left. \left. - P_{(n-1),n} \right\} \right. \\
&\quad + A_1 \left\{ \left(1 - \frac{(n-1)k}{N} \right) P - P_{2,n} - P_{3,n} - \dots \right. \\
&\quad \left. \left. - P_{(n-1),n} \right\} \right\} \dots \dots \dots
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \cdots - P_{(n-1) \cdot n} \} \\
 & + A_2 \left\{ \left(1 - \frac{(n-1)k}{N} \right) P - P_{3 \cdot n} - P_{4 \cdot n} - \right. \\
 & \cdots - P_{(n-1) \cdot n} \} \\
 & + \cdots \cdots \cdots \\
 & + A_{i-1} \left\{ \left(1 - \frac{(n-1)k}{N} \right) P - P_{i \cdot n} - P_{(i+1) \cdot n} \right. \\
 & \cdots - P_{(n-1) \cdot n} \} \\
 & + \frac{1}{2} A_i \left\{ \left(1 - \frac{(n-1)k}{N} \right) P - P_{(i+1) \cdot n} \right. \\
 & \left. - P_{(i+2) \cdot n} - \cdots - P_{(n-1) \cdot n} \right\} \cdots \cdots (17) \\
 & (i = 1, 2, \cdots, n-1)
 \end{aligned}$$

巻胴が変形しないものと考えたときは

$$\begin{aligned}
 P_{i \cdot n} &= \frac{2 E_r a}{D + \{1 + 2(i-1) \sin \gamma\} d} \\
 & \times \left[A_1 \left\{ \left(1 - \frac{(n-1)k}{N} \right) P - P_{2 \cdot n} - P_{3 \cdot n} - \right. \right. \\
 & \cdots - P_{(n-1) \cdot n} \} \\
 & + A_2 \left\{ \left(1 - \frac{(n-1)k}{N} \right) P - P_{3 \cdot n} - P_{4 \cdot n} - \right. \\
 & \cdots - P_{(n-1) \cdot n} \} \\
 & + \cdots \cdots \cdots \\
 & + A_{i-1} \left\{ \left(1 - \frac{(n-1)k}{N} \right) P - P_{i \cdot n} - P_{(i+1) \cdot n} \right. \\
 & \cdots - P_{(n-1) \cdot n} \} \\
 & + \frac{1}{2} A_i \left\{ \left(1 - \frac{(n-1)k}{N} \right) P - P_{(i+1) \cdot n} \right. \\
 & \left. - P_{(i+2) \cdot n} - \cdots - P_{(n-1) \cdot n} \right\} \cdots \cdots (17)' \\
 & (i = 1, 2, \cdots, n-1)
 \end{aligned}$$

となる。このようにして求めた張力の減少量 $P_{1 \cdot n}$, $P_{2 \cdot n}$, $\cdots$, $P_{(n-1) \cdot n}$ を用いれば、ロープが n 層巻かれたときの巻層係数 C'_n は次のようになる。

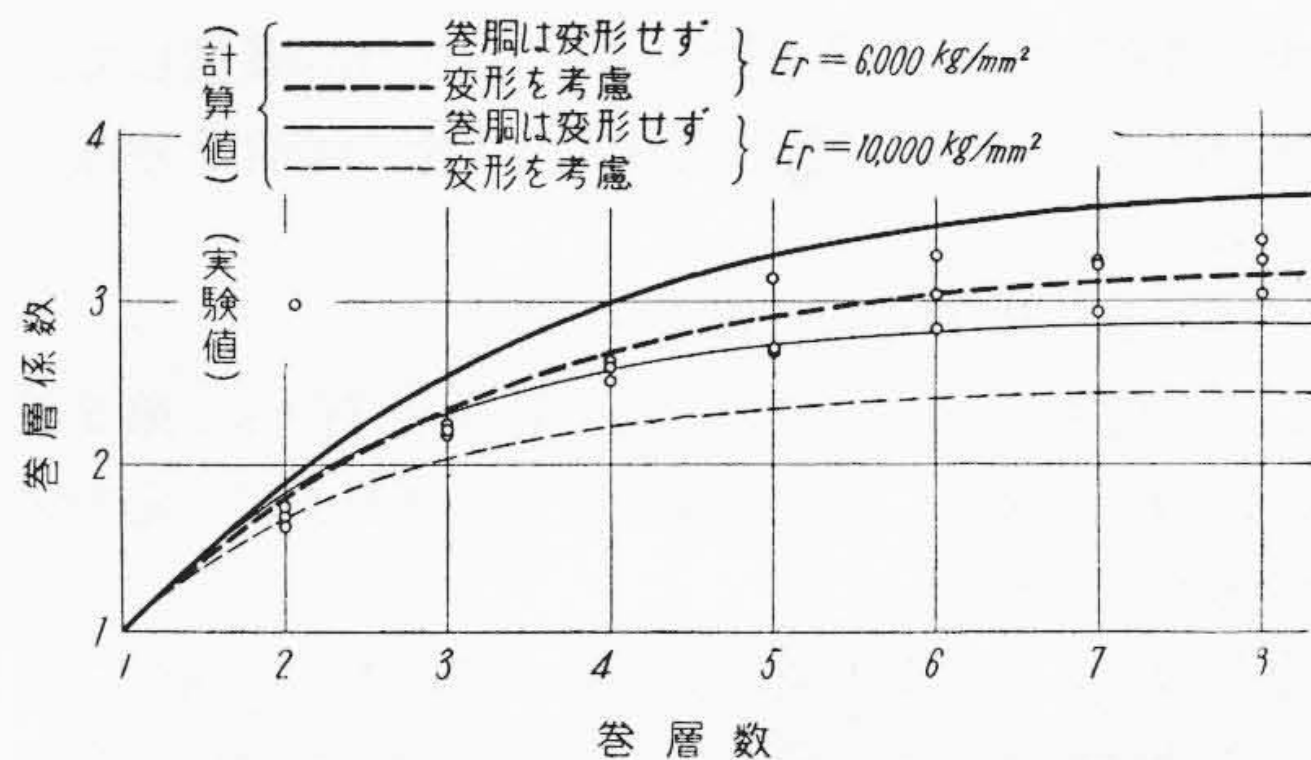
$$\begin{aligned}
 C'_n &= C'_{n-1} + \left\{ \left(1 - \frac{(n-1)k}{N} \right) \right. \\
 & \left. - \left(P_{1 \cdot n}/P + P_{2 \cdot n}/P + \cdots + P_{(n-1) \cdot n}/P \right) \right\} \\
 & \cdots \cdots \cdots (18)
 \end{aligned}$$

(ただし $C'_1 = 1$)

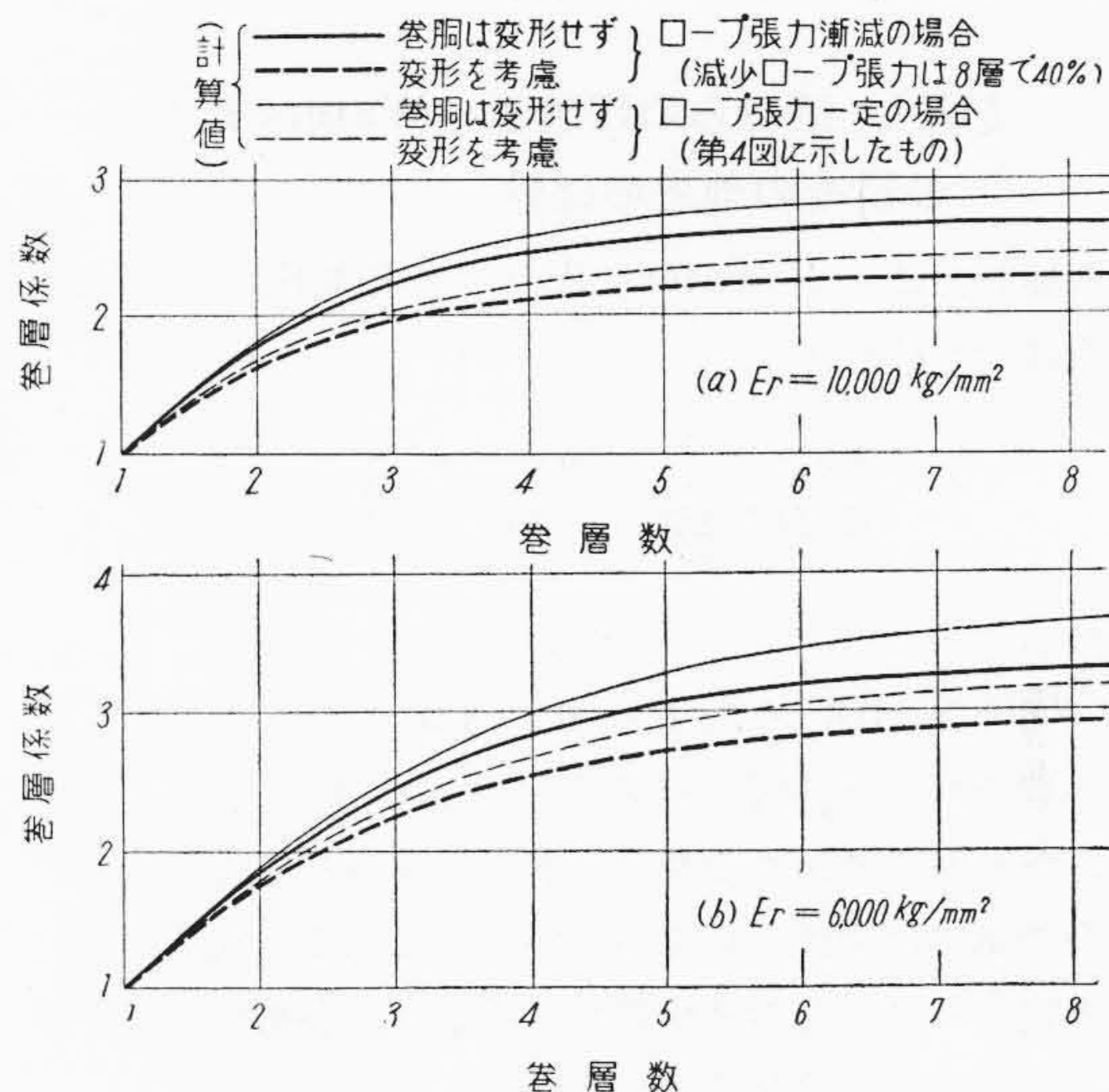
〔III〕 数値計算

前章に得た理論式により巻層係数の数値計算を行うにあたっては、後述の実験条件に対応させるため次の常数を採用した。

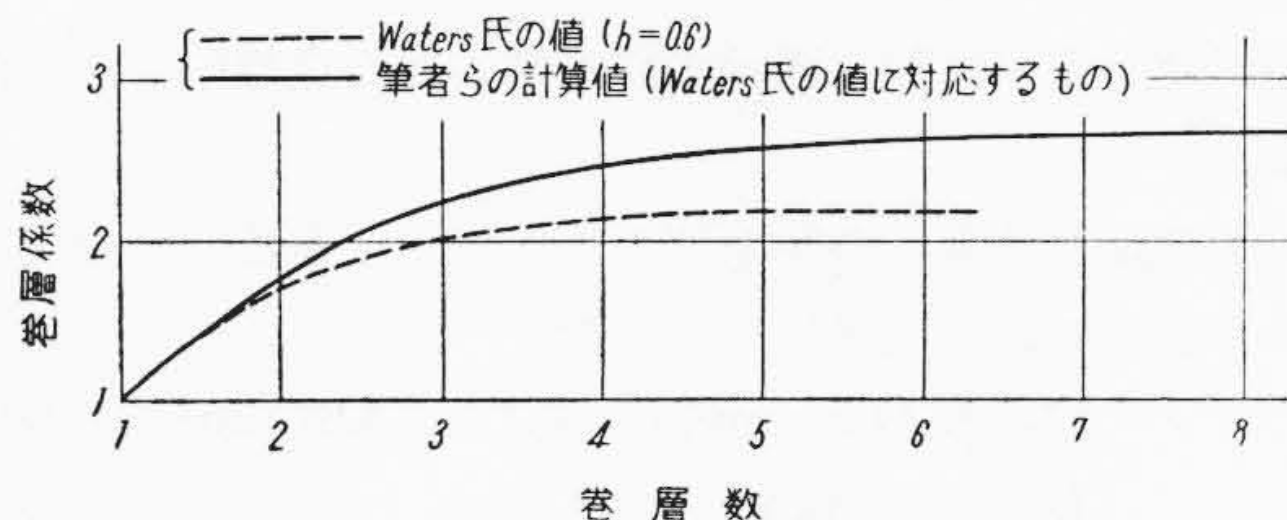
$$\begin{aligned}
 E_r &= 6,000 \text{ kg/mm}^2, E'_r = 6.3 \text{ kg/mm}^2, \mu = \tan \delta = 0.16, \\
 \nu_r &= 0.2, E_d = 21,000 \text{ kg/mm}^2, d = d_1 = 4 \text{ mm}, \\
 a &= 6.67 \text{ mm}^2, \gamma = 60^\circ, D = 313.4 \text{ mm}, t = 3.7 \text{ mm},
 \end{aligned}$$



第4図 ロープ張力一定の場合の巻層係数



第5図 ロープ張力漸減の場合の巻層係数



第6図 筆者らの巻層係数と Waters 氏の値との比較

E_r , E'_r , μ の値は実験用ロープにつき実測して求めたものである。また ν_r の値は実験用ロープにつき実測して求めることが困難であつたので、これと同じ構造の直径32mmのロープにつき張力を与えない状態で実測した結果 0.22 となつたが、張力のある場合は幾分小さくなると考えられるので上記の値を採用した。これらの値を用いて巻胴に一定張力 P のロープを巻付けた場合の巻層係数の値を計算して図示すると第4図のようになる。なおロープの弾性係数は通常使用とともに大きくなるといわれており、炭坑などではロープの普通の使用状態で 10,000 kg/mm² 前後の値を採用しているので

$$E_r = 10,000 \text{ kg/mm}^2$$

の場合についても計算図示した。

次に巻胴に巻かれるときのロープ張力が漸減してゆく場合については、一般の炭坑用巻上機の場合を考慮して

$$k = P_r/P = 0.4, \quad N = 8$$

とし他の常数は前記の値を用いて計算を行い、第5図(a), (b)に図示した。同図にはロープ張力が一定の場合の値もあわせ示した。

なお t/D の比が普通炭坑用巻上機において採用されている範囲では、この値が変つても巻層係数の値は実用上ほとんど変化しないことも計算で確かめえた。

〔IV〕 筆者らの理論値とWaters氏の値その他との比較

前述したごとく Waters 氏の理論式は不明であるが、同氏はパラメータ

$$h = \frac{4aE_r}{E_r D^2} \left(\frac{\gamma}{45^\circ} - \frac{90^\circ - \gamma}{45^\circ} \nu_r \right) \dots\dots\dots (19)$$

を用いて

$$h = 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1.0$$

の各場合につき各層ロープ張力の減少量を表示している。なお同氏の値には巻胴の変形や巻取りによるロープ張力の漸減は考慮されていないようである。同氏の示した各層ロープ張力の減少量から計算した巻層係数は h が小さいほど大きくなるが、今

$$h = 0.6$$

の場合の巻層係数を図示すれば第6図の点線のごとくなる。

この値と筆者らの理論値とを比較してみる。そのために筆者らの計算に採用した常数

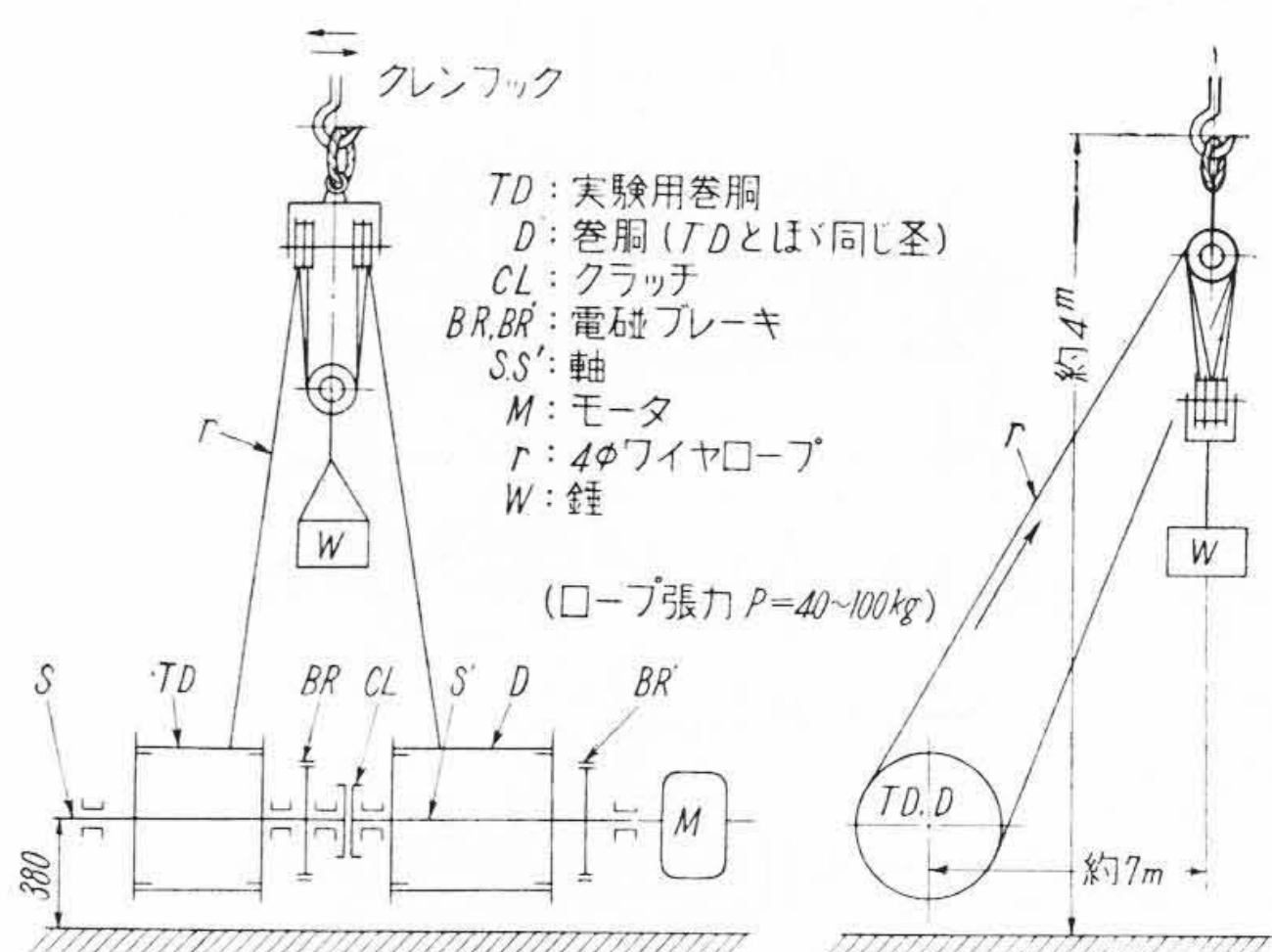
$$E_r = 6.3 \text{ kg/mm}^2, \nu_r = 0.2, a = 6.67 \text{ mm}^2, \gamma = 60^\circ, \\ D = 313.4 \text{ mm}$$

を用いて $h = 0.6$ になるごとく E_r の値を(19)式より求めれば、

$$E_r = 11,580 \text{ kg/mm}^2$$

となる。したがつてこの E_r の値および上記の諸常数を用いれば Waters 氏の h の値が 0.6 になることはあきらかで、同じ諸常数を用いて(14)', (15)式より計算した筆者らの理論値は Waters 氏の $h = 0.6$ に対する巻層係数の値に対応するものである。筆者らの理論値は第6図に実線で示してある。同図より Waters 氏の値は筆者らの値よりかなり低くなつていくことが知られる。

次に昨年11月熊本、菰原の両氏が報告された実験結果⁽²⁾および前田、水野、菰原の諸氏が実物巻胴について測定された応力⁽³⁾などから求めた巻層係数と筆者らの巻層係数の理論値とを比較してみれば、おおむね一致するものと認められる。



第7図 実験装置

第2表 実験用巻胴の仕様

	外径 D mm	長さ L mm	肉厚 t mm	L/D	t/D	材質
巻 胴 A	312.8	186	3.4	0.59	0.0109	ST38
巻 胴 B	313.4	310	3.7	0.99	0.0118	ST38

〔V〕 実験結果および考察

実験は巻胴に一定張力のロープを巻附けて行つた。その装置の概略を第7図に示す。同図の錘 W はロープ張力を加減するためのものである。実験用巻胴 TD と補助巻胴 D のロープ巻取り方向は逆になつており、軸を回転すれば D のロープは解かれて TD に巻取られることになる。実験用巻胴としては第2表に示す仕様のものを使用した。A, B 両巻胴は炭坑用巻上機の実物巻胴を基準として定めた模型であり、鋼管より削り出して作製し補強輪は挿入しなかつた。実験用ワイヤロープは直径 4 mm で、その撚り方は普通に使用される 6×7 ラング Z 撚りのものである。実験にあつてはこれを巻胴に密に巻附けた。巻層係数の実験値は、電気抵抗線歪計を用いて n 層および1層のときの巻胴内面円周方向の歪 ($\varepsilon_{yn}, \varepsilon_{y1}$) をそれぞれ測定し、その比 $\varepsilon_{yn}/\varepsilon_{y1}$ として求めた。

巻胴Bにより得られた実験値を第4図に示す。実験に使用したロープの弾性係数 E_r は実測の結果約 6,000 kg/mm² であり、また模型巻胴には補強輪がなく巻胴は変形しうる状態にあつたと考えられる。第4図にみるごとく実験結果はこの実験条件に対応する計算値によく一致している。なお巻胴Aの実験値も同様にその理論値によく一致したが図示は省略した。

本理論によれば、巻層係数は巻胴の剛性が強いほどまたロープの弾性係数が小さいほど大きくなり、逆の場合には小さくなる。ロープは使用するにつれてその弾性係数が上昇してゆくの、巻上機において新ロープの使用当初は一般に弾性係数が低く巻層係数が大となるため、負荷が大きいときは巻胴に加わる外圧が過大となる恐れ

があるので特に使用上注意する必要がある。このような新ロープの使用当初の過負荷を防止する目的で最初から巻層係数を小さくするためには、ロープをあらかじめ相当の張力で引張つてその弾性係数を大きくしておくのも一方法と考えられる。

〔VI〕 結 言

筆者らの実験結果は理論値によく一致した。本研究によれば、巻層係数は巻胴の剛性が強いほどまたロープの弾性係数が小さいほど大きくなり、逆の場合には小さくなる。巻層数が多くなれば巻層係数は増加してゆくがその増加率は次第に減少してゆく。また巻層数の増加につれて巻胴に巻かれつつあるロープの張力が漸減してゆき8層巻いたときその張力が40%減少すると考えた場合の巻層係数の値は、それが変化しないと考えた場合の値よりも約10%低減する。

従来巻胴の設計においては第6図に示した Waters 氏

の値 ($h=0.6$) が一般に用いられており、巻層数が4層以上の場合には巻層係数の値は巻層数に関係なくほぼ2.15程度で一定とされていた。ロープ張力が漸減すると考えた場合の筆者らの値もこの Waters 氏の値よりは場合によりなお高い値をとり、またもちろん4層以上の値を一定とみなすことはできない。よつて Waters 氏の値は巻胴の設計上危険側にあるといえる。

終りに本研究を遂行するにあたり終始御指導御鞭撻をいただいた日立製作所亀有工場小堀威博士、および研究実施にあたり種々御協力をいただいた伊達欣次、清水孝一の両氏に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) E. O. Waters: A. S. M. E., Trans. 42, 463 (1921)
- (2) 熊本, 穂原: 日本機械学会昭和31年11月岡山臨時大会講演会前刷 第4部, 49 (昭31—11)
- (3) 前田, 水野, 穂原: 三菱電機 30, 160 (1956—2)



特 許 の 紹 介

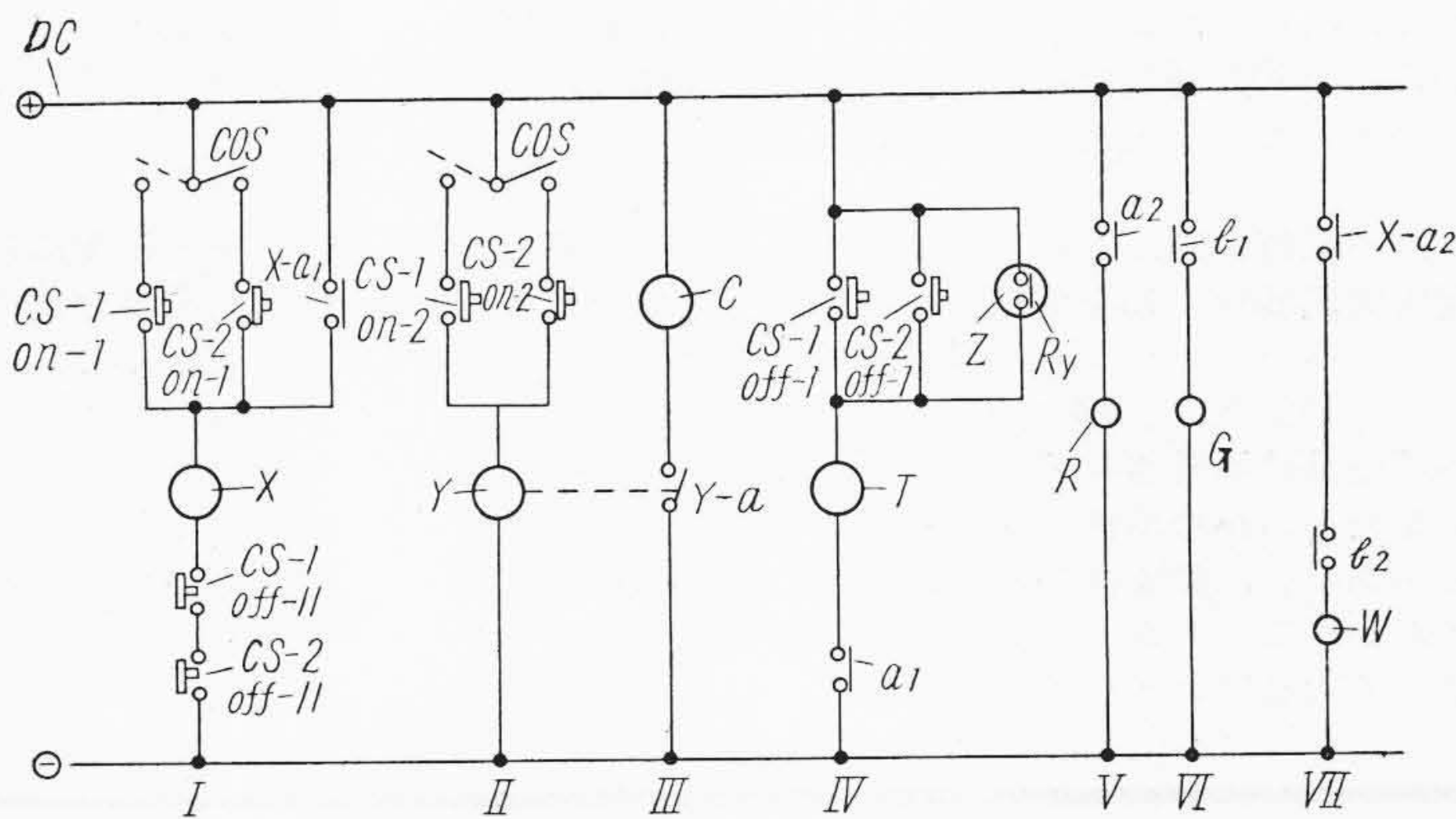


特 許 第 231641 号

池 田 正 一 郎

遮 断 器 自 動 遮 断 表 示 操 作 装 置

たとえば遮断器は屋外にメタルクラッド式に設置され、その操作を屋内監視盤から行い、かつ表示警報を行わせる仕組みとなした場合に、一方において同遮断器をその設置場所からも投入または遮断したいことがある。本発明はこのような場合にいずれの場所からの操作性および安全性をも確保しつつ状態の変化をその都度遅滞なくまた過誤なく表示せしめるものである。図中の内外切替開閉器 COS は屋外メタルクラッド側に設けられ、CS-1 (on-1, on-2, off-1) なる操作開閉器とともにあつて同時に操作するに便せしめる。CS-2 (on-1, on-2, off-1) も CS-1 と同一の操作開閉器でこれは屋内監視盤についている。そして通常 COS は右側 (Sb-1, Sb-2 側) に倒されていて、屋内からの手動投入は CS-2 を右転してその on-1 および on-2 を閉じることにより制御継電器 X の附勢 X-a₁ (自己保持接点), X-a₂ の閉合, 継電器 Y の附勢, Y-a 接点の閉合による閉合線輪 C の附勢作動, 遮断器の閉合による a₂ 接点閉合による R ランプの点灯が行われ、また CS-2 の左転によつてその off-1 接点閉合すれば引外線輪 T を附勢して遮断器をトリップし a₂ の開 b₁ の閉により R を滅灯し G ランプを点ずる。CS-2 (off-11) はその前に開いて X 滅勢し X-a₂ を開いているから W なる警報は生じない。すなわち手動操作ではランプが色変りするだけであるが、自動遮断のときは継電器 Ry の Z 接点閉合により T を附勢して行われるからこのときは R から G



に変わるとともに、この自動遮断が遮断器を手動で閉合した後であるときは X の附勢によつて X-a₂ が閉合しているから警報 W が鳴つてその特別な事態を報ずる。屋内からの操作とまったく同じことが屋外メタルクラ側からも行われうるのであるが、このとき COS は点線のように左側に倒されてから CS-1 の右転, 左転に応じて行われることになるので、同時に屋内から CS-2 を操作して行おうとしても COS の切替によつて無為に終りしたがつてメタルに近づいている人に危害を与えるうれいが無い。このように本発明によれば内からも外からも同じ操作が誤りなくかつ絶対安全に行われ表示, 警報などの区別も正しく行われる効果がある。(宮崎)



巻上機保安装置

構造

非常用ブレーキ操作電磁装置たとえば押上機6を接続した遮断器2の低電圧引外線輪9の回路中に、過速度において動作する遠心力開閉器10、制限速度において動作する遠心力開閉器11および常用ブレーキハンドルのかけ外し位置に対応して閉路あるいは開路するようにした鎖錠開閉器13を直列に挿入接続する。

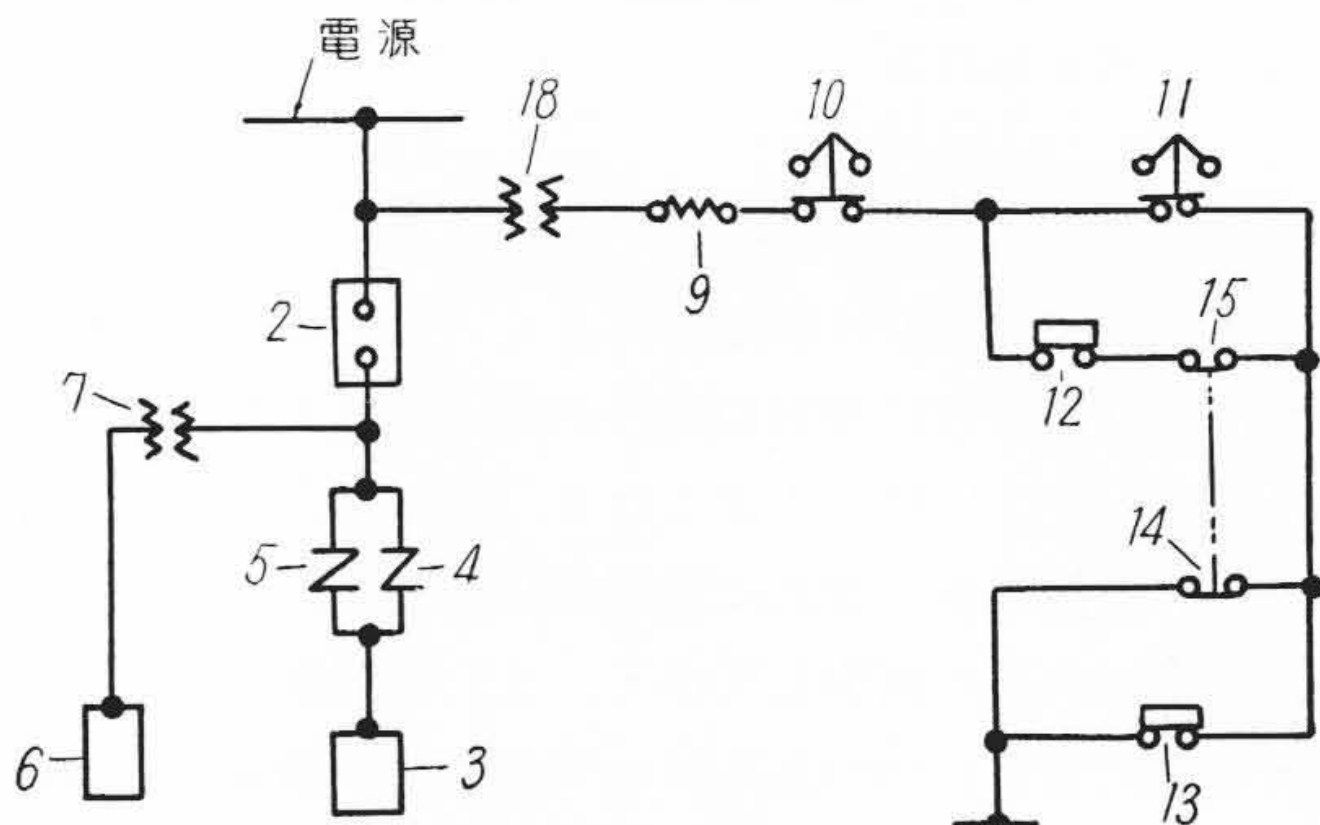
遠心力開閉器11および鎖錠開閉器13にそれぞれ並列に保安開閉器15および14を接続する。

作用

運転休止状態では遮断器2、接触器4・5ならびに保安開閉器14・15はともに開路され、また、ブレーキハンドルは制動側に倒され、したがって鎖錠開閉器13は閉路状態にある。遠心力開閉器10・11ももちろん閉路している。

運転に移るにはまず保安開閉器14・15および遮断器2を閉路し、次に運転方向に応じ接触器4あるいは5を開路し、同時に常用ブレーキハンドルをはずし方向に操作する。この際鎖錠開閉器13は開路するが、保安開閉器14が閉路しているので引外線輪9は遠心力開閉器10および11を通して附勢のままであり、遮断器2が引外されることはない。しかし機械が過速(120%)状態となり、遠心力開閉器10がその接点を開路すると、遮断器2は引外されて開路し、電動機3および押上機6を電源から遮断するので非常ブレーキがかかる。もしまた、制限速度(50%)の走行範囲内にあればスピードチェック開閉器12が開路しているので50%速度で遠心力開閉器11が開路し、線輪9は無電圧となつて上記と同様に巻上機は非常停止させられる。

また、運転停止時において運転手が運転席を離れる時には保安開閉器14・15を開路しておく。この状態では常用ブレーキのハンドルは当然制動位置に手動操作されているので、鎖錠開閉器13は閉路していて遮断器2の低電圧引外線輪9は引外されるようなことはないはずであるが、もしなんらかの原因でブレーキがゆるめられるようなことがあると、鎖錠開閉器13は開路したために非常ブレーキがかかる。しかし、鎖錠開閉器13は常にそのように具合よく調整されているとも限らず、たとえ開閉器13



が閉路していてもブレーキがゆるみ、巻上機が自転を始めることがある。たとえばシューの磨耗、あるいはブレーキドラムの温度下降による収縮などによりハンドルが制動位置に操作されているにもかかわらず実際にはブレーキがかからず自転を始めるのである。この場合には開閉器15が開路されたままであるから巻上機の自転速度が50%になると遠心力開閉器11が開路し、したがってその速度で非常ブレーキがかかるのである。このため自走距離も比較的短くてすみ、たとえばケーブルカーをホームを離れることなく停止させることができる。しかもその際のショックは軽くてすむ。

効果

非常ブレーキ操作回路の一部であるブレーキ鎖錠開閉器と制限速度に対する遠心力開閉器とにそれぞれ並列に保安開閉器を設け、それらは運転手の不在の場合に開路するようにしたからブレーキがなんらかの原因でゆるめられるようなことがあればただちに自動的に非常ブレーキがかかり、あるいはまたブレーキシューの磨耗などに起因するゆるみならば比較的低速のうちに自動的に非常制動がかかつて停止するから運転の安全を期することができる。しかも後者の動作はそのままブレーキシューの磨耗などの警告として利用しうる。(富田)

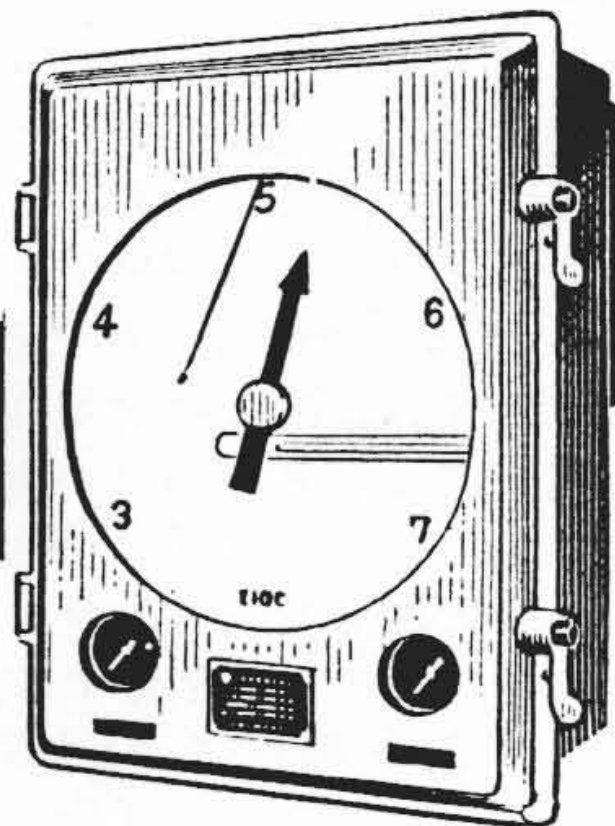


化学装置の計装化に

日立工業計器

温度計 (熱電及抵抗温度計) 液面計兼警報計
流量計 電子管式自動平衡計
トラフトゲージ 各種調節計
CO₂ガス計 熱計器盤

PVQ型電子管式
自動平衡記録調節計



日立製作所