HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	摩擦車式揚綱網機の研究：Ⅰ．回転する直円筒状のロープの挙動
Author(s)	山下, 成治; 五十嵐, 脩蔵
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 33(3), 126-134
Issue Date	1982-09
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/23793
Type	bulletin (article)
File Information	33(3)_P126-134.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北大水産彙報
33(3), 126–134. 1982.

摩擦車式揚網網機の研究
I. 回転する直円筒上のロープの挙動

山下成治*・五十嵐脩蔵*

Mechanical studies on the frictional rope-net hauler
I. The behavior of ropes on the rotating cylindrical drum

Nariharu YAMASHITA and Shuzo IGARASHI

Abstract

The frictional rope-net hauler generally called "Capstan" is one of the most important machines in fishery. But there has been little scientific research done on how to design drum shapes or about the relative position between a drum and the rope guides on board, although these are of value as an abrasion mechanism between the ropes and the drum. There has also been little research done on how to actually handle them.

The present paper aims at analysing theoretically and experimentally a moving state of ropes on a drum. The model experiment was carried out using two types of cylindrical drums made of acrylic (dia: 29.5 mm, 49.5 mm·length: 180.0 mm) and well-stretched cotton threads (dia: 2.0 mm). If we make certain assumptions, then the theoretical analysis will accord with the results of the experiment. The assumptions are 1) threads have no stretch, 2) threads are flexible and 3) there is no slippage between the threads and the drum.

The moving state of the threads on a drum is approximately divided into three periods, as follows: 1) Transient period; drum rotates from initial condition to N(the number of coiled threads), 2) Ordinary non-contact period; until threads contact each other after N revolution and 3) Ordinary contact period; until undesirable coiling of threads occurs.

It was found that the threads directed to the drum caused the rotation to take place on its longitudinal axis.

緒　　言

一般にキャプスタンあるいはドラムと呼ばれている摩擦車式揚網網機は，リールと呼ばれる巻胴式揚網機とともに，漁業機械の中で最も重要なものの一つである。

特に前者は，後者で使うには適さない長く延びた網索類や網類を適当な箇所から巻き上げることができ，装置も小型化できることから，中・小型漁船に広く用いられている。

この摩擦車式揚網網機は漁具とドラム間の摩擦力を利用して揚網網を行なうため，ドラムの形状や材質および配置によっては，漁具の過大な滑りや，いわゆる不正巻き（ドラム上でロープ同士が重な

* 北海道大学水産学部漁業機械学講座
(*Laboratory of Mechanical Engineering for Fishing, Faculty of Fisheries, Hokkaido University*)

り，からみ合いを起すこと）を生じる。このようなドラム上の漁具の挙動は，漁具の摩耗や漁労作業の安全性[1]と密接に関係し，作業上好ましくないものである。

しかし，これ等の諸関係を明らかにした研究報告は極めて少なく，専ら実際には，漁業者の経験に基づいて決められている（類似の研究は繊維機械についてわずかに行われた[2]）。

よって本報では，これらの揚網網に関る要因を明らかにするため，種々のドラムに共通した性質を持つ直円筒型ドラムの模型実験および理論的考察を試みた結果，一，二の新知見を得たので報告する。

本研究を進めるにあたって有益な御助言と御指導を賜った北海道大学水産学部漁業機械学講座の見上隆克講師，資料整理に御協力願った同講座，上野澄子事務官に深く感謝いたします。

方　　法

実験は図1に示す模型で行った。ロープBは直径 2.0 mm・長さ 2 m の十分に引き伸ばした綿糸で，両端を凹凸のないよう結合して無端とし，プーリーを介して 0.3 kg の荷重をかけた。ドラムEは，内壁に座標読み取り用の目盛をつけた外径 29.5 mm，49.5 mm・長さ 180.0 mm の透明アクリル製パイプで，2つの軸受Cによって支持され，簡単に取り外しができる。また，ガイドAを通してロープをドラムに3回巻きつけた。ロープの位置は，ロープとドラム間に滑りが生じないようにドラムをハンドルDにて回転しながら，$\pi/2$ 毎に読み取った。

この模型実験に並行して，ドラムとロープの相対運動の定性的観察を，すでに実用されている *V-C* 電動ローラー（*VC*-1140*A*；中道製作所製）を用いて行い，現象の理解に役立てた。

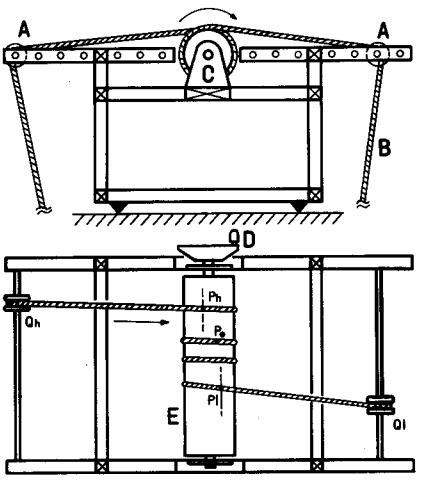

Fig. 1. Measurement system for detecting behavior of threads on a cylindrical drum.
A: thread guides, B: cotton thread, C: bearing, D: handle E: cylindrical drum

実 験 結 果

実験結果は，図2に示す座標系と記号を用いて表わした。各点の位置成分は円筒座標により表わしており，Pはドラム上の点を，Qはガイドを示し，添字のhは高張力側，lは低張力側を意味する。また，座標の成分で小文字はドラム上の点を，大文字はドラム外の点を示している。ロープは Q_h を通り P_h でドラムに接して，ドラムの回転に従いN回転後，P_l で離れ Q_l に至る。実船においては，Q_h が船側に取り付けたフェアリーダー等であり，Q_l が漁労者の位置等である。

図3と図4は，図2の P_h から P_l までを，接触角 Θ を横軸にとって展開したものであり，縦軸はドラムの基底面からの高さZである。図中の点が実測値であり，$\pi/2$ 毎にプロットしてある。また，白丸はドラムにロープをはじめて巻きつけた状態，二重丸はドラム上で不正巻きを生じた位置を表わす。実線は後述する理論式から得た値であり，破線は実際のロープの軌跡である。図の右側に示すドラムの累積回転数 n によってロープの運動を表わした。特に n_c はドラム上でロープが並んで接触しはじめるまでの n を意味している。

ガイドの位置は $Z_h=120.0$ mm，$Z_l=40.0$ mm に固定し実験を行った。図3は外径 29.5 mm の，

図4は 49.5 mm のドラムについて行った実験結果であり，図番の a は R_h=220.0 mm，R_l=88.0 mm，b は R_h=88.0 mm，R_l=220.0 mm の場合である。ドラム径が変ると P_h，P_l の位置も変化するため，図3では $N=3.0(0\leqq\theta\leqq6\pi)$，図4では $N=3.1(0\leqq\theta\leqq6.2\pi)$ となる。

ロープは1回転毎に Z の正方向へ移動してゆくが，1) $0\leqq n<N$ までは，白丸で示したはじめのロープの巻きつけ方によって，ドラム上のロープの軌跡は様々な曲線を描いていた。しかし，ドラム

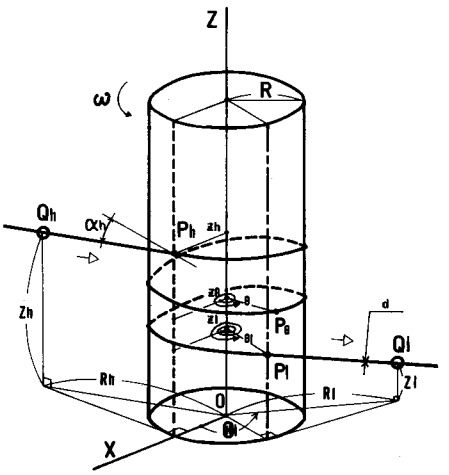

Fig. 2. Schematic drawing of the co-ordinates and the drum feature.

Nomenclature

N: number of coiling threads on the drum
n: accumulated number of revolutions of the drum
ω: revolving angle of the drum (rad/sec)
d=2×r: diameter of the thread (mm)
D=2×R: diameter of the drum (mm)
P_h (R, θ_h, z_h): contact point at high tension side
P_l (R, θ_l, z_l): contact point at low tension side
P_θ (R, θ, z_θ): optional contact point on the drum
Q_h(R_h, Θ_h, Z_h): guide position at high tension side
Q_l(R_l, Θ_l, Z_l): guide position at low tension side co-ordinates
O-XYZ: cartesian co-ordinates
O-RΘZ: cylindrical co-ordinates

Subscript

h: high tension side　　l: low tension side

Trajectory

-----: trajectory of P_h　　-·-·-: trajectory of P_l
--·--: trajectory of calculated line

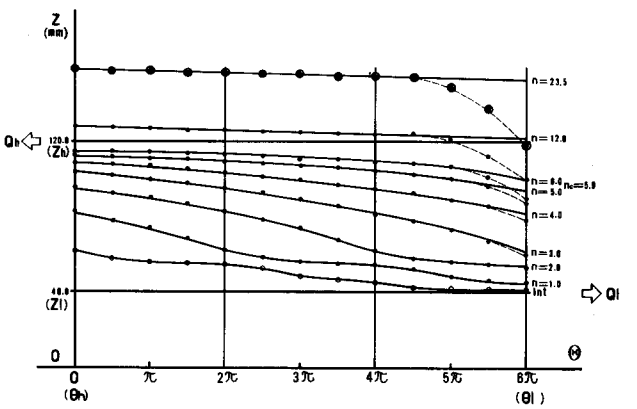

Fig. 3-a. Relationship between z_h, n and θ.
D=29.5 mm, R=14.8 mm, R_h=220.0 mm, R_l=88.0 mm

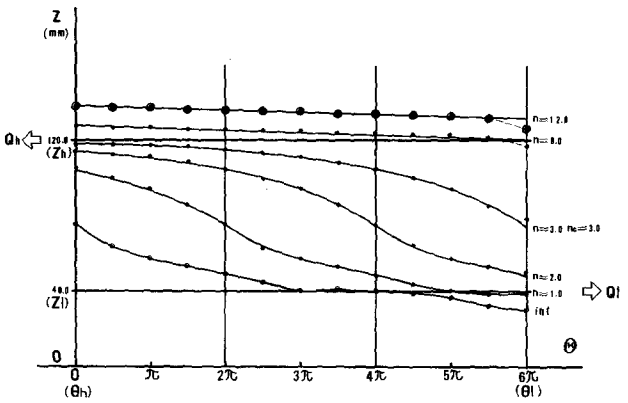

Fig. 3-b. Relationship between z_h, n and θ.
D=29.5 mm, R=14.8 mm, R_h=88.0 mm, R_l=220.0 mm

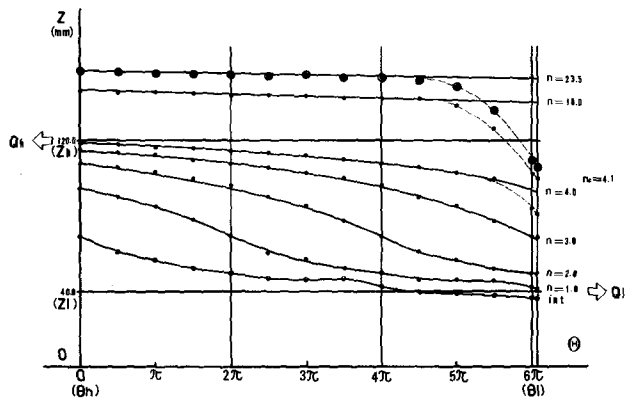

Fig. 4-a. Relationship between z_h, n and θ.
D=49.5 mm, R=24.8 mm, R_h=220.0 mm, R_l=88.0 mm

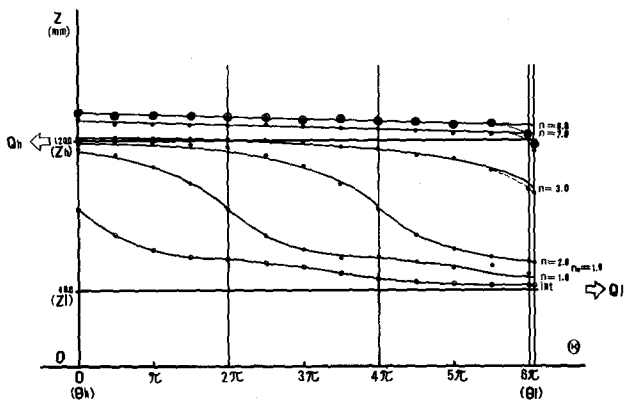

Fig. 4-b. Relationship between z_h, n and θ.
D=49.5 mm, R=24.8 mm, R_h=88.0 mm, R_l=220.0 mm

の回転につれて徐々に規則的な曲線となり ($0 \leqq \theta < 2n\pi$)，またロープの滑りは認められなかった。ロープのはじめの巻き方で，θ_l 側の位置を θ_h 側の位置より高くしたものや，Z_h を超えた所から巻いたものでは，すぐに不正巻きを生じた。2) $N \leqq n < n_c$ では，ドラムの全面にわたって ($0 \leqq \theta \leqq 2N\pi$) 一様で規則的な曲線を示し，ロープの滑りは θ_l 近くのわずかな部分で生じた。Q_h 側のガイドとドラムが大体直角になった所で，ロープ同士が互いに接触しはじめた。更に n を増してゆくと，3) ロープは Z_h を超えて移動しつづけ，ついには不正巻きを生じて，Q_l 側のロープが Q_h 側のロープとともにドラム方向へ巻き取られた。ロープの滑りは，Q_l からドラム半周分くらい前の位置から生じ，n の増加につれて大きくなった。また，ロープ同士の接触により，進入してくる高張力側のロープは進行方向に対し反時計廻りの回転を，離脱してゆく低張力側のロープは時計廻りの回転を生じ，やはり n が増すに従って強く現われてくることも観察された。

1)，2) では，z_h の移動速度は n が小さい時に速く，n_c に近づくにつれて遅くなる傾向があり，その大きさは R_h/R に関係している。これは，図 3-a ($R_h/R=14.9$) → 図 4-a ($=8.9$) → 図 3-b ($=6.0$) → 図 4-b ($=3.6$) の順に速くなっていることからわかる。3) では，ドラムが 1 回転する毎にロープ径だけ z_h が増加している。

1)，2)，3) を通じて，ロープが滑りを生じていない部分では，ロープの位置がドラム 1 回転につき 2π だけ θ_l 側に移動する。特に 1) では，$0 \leqq \theta < 2n\pi$ の軌跡は z_h の値で決められ，$2n\pi \leqq \theta \leqq 2N\pi$ では，はじめの巻き方で決められる。

1) に生ずる不正巻きの条件は上述した通りであるが，興味のある現象として，3) の状態までロープが移動してきた時ドラムを逆転し，それまで接触していたロープ同士が離れてから再び正転すると，2 回目の正転時に $Z_h < z_h$ となっている場合に限って不正巻きを生じる。これは 1) における不正巻きの特殊な場合であり，"Z_h を超えて巻く" 時の条件に当てはまる。3) での不正巻きは，これが生じた時の z_h の値を調べてみると，図 3-a では $z_h(n=23.5)=116.0$ mm，図 4-a では $z_h(23.5)=119.0$ mm，図 3-b では $z_h(12.8)=94.0$ mm，図 4-b では $z_h(8.8)=97.0$ mm となり，R_h の大きさのみに関係しているようである。

考　　察

実験結果から，ロープとドラムに滑りの生じない部分においてはロープの運動に規則的な傾向がみられ，更にそれは z_h によって決まることから，"ドラム上のロープは，ドラムとはじめに接した位置から動かない" という仮定を設けて解析を行なった。

すでに示したように，ロープの挙動は n によってほぼ 3 つの期間に分けられる。そこで，1) を過渡期，2) を定常非接触期，3) を定常接触期と呼ぶことにした。"定常" とはロープの軌跡が z_h の値により一義的に決められること，"接触" とはロープ同士がドラム上で並んで接触することを意味している。図 5 に各期の状態を例示してある。左側の図はドラムの平面図で，それぞれの期間についてロープがどのようにドラムに巻きついているかを表わしたものであり，特に Q_h と P_h の関係，即ち $\alpha_h(n)$ の変化が注目される。図 5-c ではロープ同士が並んで接触し合うことを表わした。中央の図は，ドラムの P_h から P_l までの展開図で，図 3 および 4 と同じものである。図中の実線はロープの軌跡を (図 3 および 4 の黒丸と破線に相当する)，二点鎖線は後述する理論式より求めた場合の軌跡を表わしたものである。記号については図 2 に準ずる。また，右側の表は各期間の定義域を，n と α_h をもとに分類したものである。

理論的解析　全期間を通じて P_n，P_l の軌跡は

$$\theta_h = \Theta_h - \cos^{-1}(R/R_h) \tag{1}$$

$$\theta_l = \Theta_l - \cos^{-1}(R/R_l) \tag{1}'$$

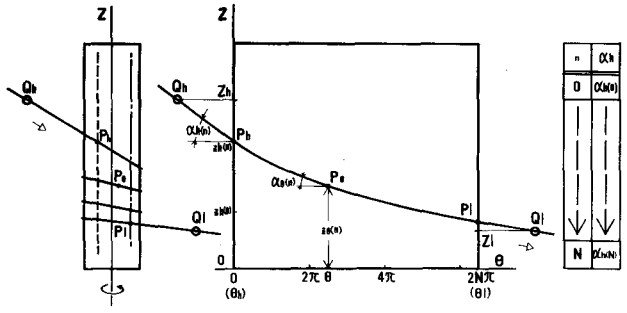

Fig. 5-a. I. Transient period.

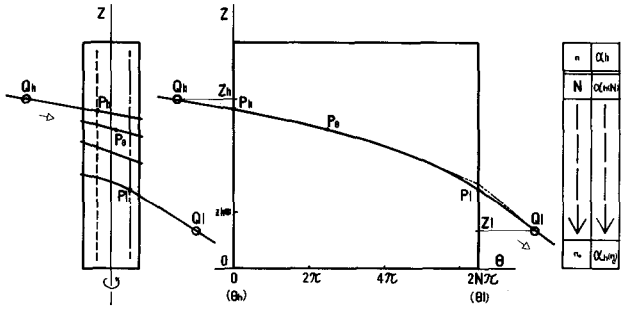

Fig. 5-b. II. Ordinary non-contact period.

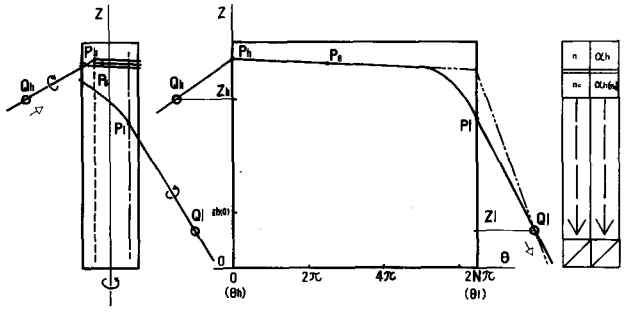

Fig. 5-c. III. Ordinary contact period.

となる。ドラムは直円筒型なので，R=const. とおけるから，θ_h, θ_l=const. となり，(1)，(1)′ 式はドラム上で Z 軸と平行な直線を表わす。

また仮定より，Ph で接した点の高さはドラムが回転しても変らないから，はじめにロープを巻きつけた状態で，$\theta=0(\theta_h)$ の点 $z_0(0)$（これは $z_h(0)$ に等しい）は，1 回転後の位置 $z_{2\pi}(1)$ と等しい。

つまり，$z_0(0)=z_{2\pi}(1)$ となる。この関係を一般化すると，接触角 θ および θ^* のロープの位置は (2) 式のようになる。

$$z_\theta(n)=z_{\theta^*}\left(n-\frac{\theta-\theta^*}{2\pi}\right) \tag{2}$$

I. 過渡期について $(0\leqq n<N)$　$z_h(t)$ の変化量は，Ph におけるピッチ角 $\alpha_h(t)$ に比例すると考えて良いから，(3) 式に示した1階微分方程式で表わせる。これは $\alpha_h(t)$ を求めた (4) 式と (1) (3) 式および $\omega t=2n\pi$ なる関係を連立して解くことにより (5) 式のようになる。

$$\frac{1}{R}\cdot\frac{d}{d\theta}z_h(t)=\tan\alpha_h(t) \tag{3}$$

$$\tan\alpha_h(t)=\frac{Z_h-z_h(t)}{\sqrt{R_h^2+R^2-2R_h\cdot R\cdot\cos^{-1}(\Theta_n-\theta_h)}} \tag{4}$$

$$z_h(n)=Z_h-(Z_h-z_h(0))\exp\left\{\frac{-2\pi}{\sqrt{\left(\frac{R_h}{R}\right)^2-1}}n\right\} \tag{5}$$

ここで (2) 式より，$\theta^*=0$ とおけば，$z_0(n)$ は $z_h(n)$ と等しかったから $z_\theta(n)=z_h(n-\theta/2\pi)$ となり，ロープの軌跡は

$$z_\theta(n)=\begin{cases} z_h\left(n-\dfrac{\theta}{2\pi}\right) & ;\ 0\leqq\theta<2n\pi \\ z_{\theta^*}\left(n-\dfrac{\theta-\theta^*}{2\pi}\right) & ;\ 2n\pi\leqq\theta\leqq 2N\pi \end{cases} \tag{6}$$

で決まる。

不正巻きは，i) $z_h(0)$ の高さが1巻き後のロープの高さ $z_{2\pi}(0)$ よりロープの直径分だけ低いこと，ii) ドラム径とロープ径で決まるピッチ $d/\pi D$ より $\tan\alpha_h(0)$ が小さいこと，のいずれかが満された時生じるので，不正巻きを起さぬ条件式は次のようになる。

$$\begin{cases} z_\theta(0)>z_{\theta+2\pi}(0)+d\ ;\ N>1,\ 0<\theta\leqq 2(N-1)\pi \\ \alpha_h(0)>\tan^{-1}\left(\dfrac{d}{\pi D}\right) \end{cases} \tag{7}$$

II. 定常非接触期について $(N\leqq n<n_c)$　ロープの軌跡は (5) 式と $z_\theta(n)=z_h(n-\theta/2\pi)$ で決まる。n_c は $\tan\alpha_h(n_c)=d/\pi D$ を満すから，これを (1) (4) (5) 式に代入して解くと

$$n_c=-\frac{\sqrt{\left(\frac{R_h}{R}\right)^2-1}}{2\pi}\ln\left\{\frac{\sqrt{\left(\frac{R_h}{R}\right)^2-1}}{2\pi}\cdot\frac{d}{Z_h-z_h(0)}\right\} \tag{8}$$

III. 定常接触期について $(n_c\leqq n)$　ロープ径とドラム径によって軌跡が決められるので，$z_h(n)$ は

$$z_h(n)=z_h(n_c)+d\times(n-n_c) \tag{9}$$

となる。さらに (2) 式の関係から，全軌跡は (10) 式のようになる。

$$z_\theta(n) = z_h(n_c) + d \times \left(n - \frac{\theta}{2\pi} - n_c \right) \tag{10}$$

以上の関係式から，過渡期と定常非接触期では，ドラム径と高張力側のガイドとドラムまでの距離の比 R_h/R が，定常接触期ではロープ径 d が，ロープの運動に支配的に作用することが考えられる。(5) (9) 式より明らかに，R_h/R が小さく d が大きい程，この運動は早くなる。

さらに，これらの関係式を模型則を通じて一般化するために，(5) (9) 式を無次元化するとそれぞれ

$$C(n) = C(0) \exp \left\{ \frac{-2\pi}{\sqrt{\left(\frac{R_h}{R}\right)^2 - 1}} n \right\} \tag{5}'$$

および

$$C(n) = 1 + \frac{d}{Z_h - z_h(n_c)} (n - n_c) \tag{9}'$$

となる。ここに

$$C(n) = \frac{Z_h - z_h(n)}{Z_h - z_h(n_c)}$$

$C(n)$ は $z_h(n)$ が $z_h(n_c)$ とどれだけ離れているかを示す比で，$n = n_c$ の時 1 となる。この値は Z_h のとり方には無関係で，ドラムの基底面も測定し易い所に任意にとることができる。(5)' 式では $z_h(0)$ の値で決まる $C(0)$ と R_h/R の値によって，(9)' 式では d の値によって，$C(n)$ が決まることを表わしている。両式から，直円筒型ドラムについては，無次元量 $C(n)$，R_h/R，$d/(Z_h - z_h(n_c))$ により幾何学的相似が保たれることが予測される。

実験結果と理論式の比較 図 3, 4 から P_h, P_l の軌跡は直線で，滑りの生じない部分では (2) 式が成り立っていることがわかる。また，(5) (6) (10) 式は実験結果と良い一致を示し，計算値と測定値が違ってくる所では滑りが観察されることから，前述の仮定が成り立つ状態ではこれ等の式が適用できるといえる。(8) 式から，n_c と N の大きさによっては，定常非接触期を経ずに過渡期から定常接触期に移行することも予想されたが，図 4-b でこのことが確認された（ロープの軌跡が $z_h(n)$ で一義的に決められる前に接触がはじまっている。$n_c = 1.9$）。

以上の結果をふまえて，ロープの巻き数が多く，ドラム上のロープは滑らない状態でのドラムの使用について考えてみる。

これを使用する漁労作業では，漁業者は適切な揚網力を得るために，ロープがドラムの周方向へ滑るのを極力おさえるよう巻数や自己の引張力などを加減する訳であるが，上述したように，ドラムとロープ間に滑りが生じない状態ではドラム軸方向へのロープのトラバースが生じる。そして，これを抑えなければロープがドラムから外れるか不正巻きを生ずるため，一般的には直円筒型ドラムよりはむしろつづみ型のドラムが用いられており，これによってトラバースがある程度以上進行しないよう軸方向への滑りを強制的に与えるようにしている。このように“ロープは周方向には滑らず，軸方向には滑って欲しい”という矛盾がドラムを用いた揚網に内在するため，次のような不都合が生じる。

a) 操業中，ロープが軸方向へ動かず安定して操り出されているように見えても，ロープとドラム間には常に滑りが生じていて，摩耗を進行させている（もし滑りがなければ，なんらかのトラバースを生ずるのは本論より明らかである）。

b) 漁法によってはつづみ型のドラム面一杯にロープを巻いて作業する場合があり*, トラバース方向のフリンジによって押し返されるべきロープが, 反対側のフリンジによってその運動を妨げられ, 不正巻きや強度の摩耗を生じることがある。

c) ドラムの配置は, 単に高張力側ガイドと低張力側ガイドの線上にドラムを位置させるだけでなく, ドラム軸とガイドの成す角 φ が常に $\pi/2$ になるようにしなければならない。これは, 見かけ上のドラムとガイドの距離 R_h' とガイドの高さ Z_h' が適切でも, わずかの φ が実際の R_h および Z_h を変化させ, 急速なロープのトラバースを生じて, ドラムからロープが外れる原因となるためである ((5) 式に $R_h = R_h' \cdot \sin\varphi < R_h'$, $Z_h = Z_h' + R_h' \cdot \cos\varphi > Z_h'$ を代入すれば $z_h(n)$ の値が求まる)。

このようなことから, ドラムの設計や設置の際には, ロープの巻き数や船上での配置を確認し, 十分な検討を加えなければならないことがわかる。

なお, 定常接触期で観察されたロープの軸まわりの回転や, 不正巻きの起こる状態, ロープの滑りと張力の関係等については, 今後の研究課題である。

要　　約

ドラム上のロープの挙動について, ドラムとロープは滑らないという仮定の下に, 直円筒型ドラムを用いて実験し, 次の結果を得た。

1) ロープの挙動は I. 過渡期 II. 定常非接触期 III. 定常接触期 に分類される。

2) それぞれの期間について, ロープの運動は次の関係式で表わせる。

I. II.; $z_h(n) = Z_h - (Z_h - z_h(0)) \exp\{-2n\pi/\sqrt{(R_h/R)^2 - 1}\}$; $0 \leqq n < n_c$

III. ; $z_h(n) = z_h(n_c) + d \times (n - n_c)$; $n_c \leqq n$

I. II. III.; $z_\theta(n) = z_{\theta^*}(n - (\theta - \theta^*)/2\pi)$

ここに $z_h(n)$ はドラムが n 回転した時のロープとドラムの高張力側接点の高さ, Z_h は高張力側ガイドの高さ, R_h はドラムと高張力側ガイドとの距離, R はドラムの半径, n_c はロープがドラム上で並んで接触しはじめる累積回転数, d はロープ径, z_θ はドラム上の接触角 θ の点, z_{θ^*} は同じく接触角 θ^* の点である。

3) 定常接触期ではロープの相互作用により, ロープの軸まわりの回転が生じる。

4) ロープの運動がドラムの回転に従って進行すると, 必らずロープが重なり, 絡み合い (不正巻き) を生ずる。

文　　献

1) 見上隆克・五十嵐脩蔵・山下成治 (1982). 小型漁船員の漁業機械による事故について—I. ホッキガイ桁曳漁業における一例. 日本水産学会春季大会講演要旨集. 6.

2) 内田豊作・久世栄一・兵頭啓次郎・酒井哲也 (1956). 緯管巻きに関する研究. 第1報 巻糸の画く曲線について. 繊維機械学会誌, 12, 28–32.

* ホッキガイ桁曳漁業では, 例えばドラム長 160 mm に対し直径 10 mm ワイヤーを8回巻きで使用する[1]。