



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



## 交走式旅客索道運転動力について

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-07-18 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 岩津, 功 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/3596">http://hdl.handle.net/10258/3596</a>

# 交走式旅客索道運転動力について

岩 津 功

## On the Driving Power for Reversible Passenger Ropeways

Isao Iwatsu

### Abstract

This note deals with the subject as a function of the inclined distance from tower along each span.

The formulas for determining the driving power are related to following factors, i.e., sags of rail ropes at the points of both ascending carriage and descending one, inclinations of the carriages, difference between tensions in hauling rope on taut side and slack side, velocity of hauling rope.

### 1. 緒 言

交走式旅客索道において、山頂原動、山麓緊張方式として、搬器（実車、空車）が、線路上各位置に在るときの運転動力を、各径間毎に、各支柱よりの斜距離の関数として求めることを目的とする。

上下搬器の位置における弛度、傾斜角を求め、巻込、繰出側の曳索張力を導き、これと各位置における曳索速度とから運転動力を算定するものである。

### 2. 搬器の傾斜角： $\theta$

$l_m$ : 第  $m$  径間における水平距離 (m),

$\bar{l}_m$ : " 斜距離 (m),

$h_m$ : " 索条の高低差 (m),

$x$ : 径間における支柱より任意の点までの水平距離 (m),

$\bar{x}$ : " 斜距離 (m),

$\xi$ : " " (m),

$$\bar{x} - \xi = \delta$$

$y$ :  $x$  点における見通線に垂直な弛度 (m),

$\bar{y}$ :  $x$  点における弛度 (m),

$\varphi_m$ : 第  $m$  径間における勾配角,

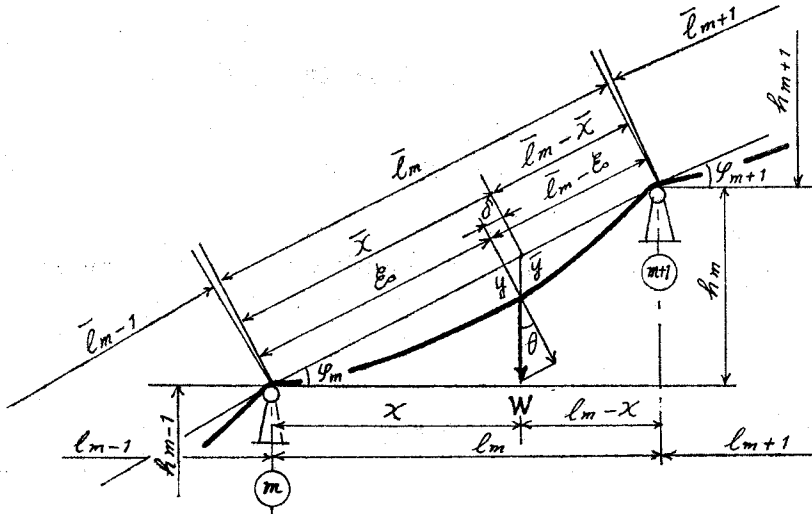


図-1 搬器の位置 (上り側)

$W$ : 搬器の重量 (乗客および風圧荷重を含む) (kg),

これらの関係を (図-1) に示す。以下、索条につき、添字 1, 2, 3 はそれぞれ、支索, 曳索, 平衡索を表わすものとする。

$S_{2\bar{x}}$ : 搬器が  $\bar{x}$  点に在るときの索条張力 (kg),

$w_i$ : 索条単位重量 (風圧荷重を含む) (kg/m),

$G_i$ : 索条緊張重錘重量 (kg),

$n_i$ : 索条本数,

なお、以上の記号は、上り側に関するものを示す。下り側については、各記号にそれぞれ (') を付けるものとする (以下の記号についても同じ扱いとする)。

さて、山頂側最終径間を第  $k$  径間とすれば、 $\bar{x}$  と  $\bar{x}'$  の関係は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=0}^{m-1} l_j + \bar{x} &= \sum_{j=m'}^k l_j - \bar{x}' \\ \therefore \bar{x}' &= \sum_{j=m'}^k l_j - \sum_{j=0}^{m-1} l_j - \bar{x} \geq 0 \\ \bar{x}' &\leq l_{m'}, \quad \bar{x} \leq l_m \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

いま、搬器の走行輪と支索の接触点と、曳索 (または平衡索) の搬器取付点とは、鉛直方向に近接しているので同一点とみなす。(図-2) において、支柱 A 点における見通線に垂直な反力を  $V_A$  とする。B 点, C 点の周りのモーメントの平衡からそれぞれ得られる結果につき、 $V_A$  を消去し、かつ、 $\theta$  の平均値として  $\varphi_m$  をとり、

$$S_{2\bar{x}} - W \sin \varphi_m = S_{3\bar{x}}, \quad n_2 = n_3$$

の関係を代入して整理する<sup>1)</sup>。さらに、 $\delta$  を無視して  $\xi \rightarrow \bar{x}$  とし、一般化すれば、弛度  $y$  (m) は次

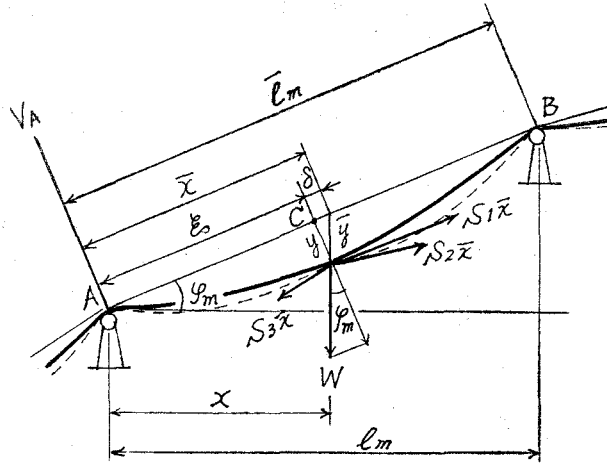


図-2 弛度の計算

式で表わされる。

$$y = \frac{\bar{x}(l_m - \bar{x}) \left\{ W + \frac{l_m}{2} \sum_{i=1}^2 n_i w_i - n_2 \frac{\bar{x}}{2} (w_2 - w_3) \right\} \cos \varphi_m}{(S_{1\bar{x}} + S_{3\bar{x}}) l_m + W \sin \varphi_m \cdot \bar{x}}$$

いま

$$\frac{\cos \varphi_m}{(S_{1\bar{x}} + S_{3\bar{x}}) l_m + W \sin \varphi_m \cdot \bar{x}} = K(\bar{x})_m$$

とおけば

$$y = \bar{x}(l_m - \bar{x}) \left\{ W + \frac{l_m}{2} \sum_{i=1}^2 n_i w_i - n_2 \frac{\bar{x}}{2} (w_2 - w_3) \right\} K(\bar{x})_m \quad (2)$$

しかるに

$$S_{1\bar{x}} = n_1 \left\{ G_1 + w_1 \left( \sum_{j=0}^{m-1} h_j + \bar{x} \sin \varphi_m \right) \pm \left( R \rho + \mu \sum_{j=0}^{m-1} S_{1j} \cdot \theta_j \right) \right\}$$

ここに  $R$ : 支索緊張重錘車または受ローラに対するラジアル荷重 (kg)

$\rho$ : " 重錘車または受ローラの抵抗係数

$\mu$ : 支索とシュー間の摩擦係数

$S_{1j}$ : 各支柱における支索張力 (kg)

$$S_{1j} = G_1 + w_1 \sum_{j=0}^{m-1} h_j$$

$\theta_j$ : 各支柱における支索負荷折角 (rad)

なお、複号は  $\bar{x} \leq l_m/2$  において + } をとる。  
 $l_m/2 < \bar{x} \leq l_m$  において - }

$$S_{3\bar{x}} = n_3 \left[ \frac{G_3}{2} + w_3 \left\{ \left( \sum_{j=0}^{m-1} h_j + \bar{x} \sin \varphi_m \right) \pm \left( \sum_{j=0}^{m-1} l_j + \bar{x} \cos \varphi_m \right) \rho_1 \right\} \right]$$

ここに  $\rho_1$ : 平衡索走行抵抗係数

なお、複号以下の部分は、 $G_3$  に比し無視できるから、 $S_{1\bar{x}}+S_{3\bar{x}}$  の計算においては、省略して差支ない。したがって

$$\begin{aligned} (S_{1\bar{x}}+S_{3\bar{x}})\bar{l}_m+W \sin \varphi_m \cdot \bar{x} &= \left\{ n_1 G_1+n_3 \frac{G_3}{2}+\sum_{i=1,3} n_i \omega_i \sum_{j=0}^{m-1} h_j \right. \\ &\quad \left. \pm \left( R\rho+\mu \sum_{j=0}^{m-1} S_{1j} \cdot \theta_j \right) \right\} \bar{l}_m+(\bar{l}_m \sum_{i=1,3} n_i \omega_i+W) \sin \varphi_m \cdot \bar{x} \\ \therefore \frac{dy}{d\bar{x}} &= \left\{ (\bar{l}_m-2\bar{x}) \left( W+\frac{\bar{l}_m}{2} \sum_{i=1}^2 n_i \omega_i \right)-n_2 \frac{\bar{x}}{2} (2\bar{l}_m-3\bar{x})(\omega_2-\omega_3)-y \right. \\ &\quad \left. \times (\bar{l}_m \sum_{i=1,3} n_i \omega_i+W) \tan \varphi_m \right\} K(\bar{x})_m \end{aligned} \quad (3)$$

しかして

$$\theta = \varphi_m - \tan^{-1} dy/d\bar{x} \quad (4)$$

以上、(1)~(4)の各式は、何れも $\bar{x}$ (上り側)に関するものであるが、同様に $\bar{x}'$ (下り側)に関して次の各式が得られる。すなわち

$$y' = \bar{x}' (\bar{l}_{m'} - \bar{x}') \left\{ W' + \frac{\bar{l}_{m'}}{2} \sum_{i=1}^2 n_i \omega_i - n_2 \frac{\bar{x}'}{2} (\omega_2 - \omega_3) \right\} K(\bar{x}')_{m'} \quad (2')$$

ただし

$$K(\bar{x}')_{m'} = \frac{\cos \varphi_{m'}}{(S_{1\bar{x}'}+S_{3\bar{x}'})\bar{l}_{m'}+W' \sin \varphi_{m'} \cdot \bar{x}'}$$

ここに

$$\begin{aligned} (S_{1\bar{x}'}+S_{3\bar{x}'})\bar{l}_{m'}+W' \sin \varphi_{m'} \cdot \bar{x}' &= \left\{ n_1 G_1+n_3 \frac{G_3}{2}+\sum_{i=1,3} n_i \omega_i \sum_{j=0}^{m'-1} h_j \right. \\ &\quad \left. \pm \left( R\rho+\mu \sum_{j=0}^{m'-1} S_{1j} \cdot \theta_j \right) \right\} \bar{l}_{m'}+(\bar{l}_{m'} \sum_{i=1,3} n_i \omega_i+W') \sin \varphi_{m'} \cdot \bar{x}' \\ \therefore \frac{dy'}{d\bar{x}'} &= -\frac{dy'}{d\bar{x}'} = -\left\{ (\bar{l}_{m'}-2\bar{x}') \left( W'+\frac{\bar{l}_{m'}}{2} \sum_{i=1}^2 n_i \omega_i \right)-n_2 \frac{\bar{x}'}{2} \right. \\ &\quad \left. \times (2\bar{l}_{m'}-3\bar{x}')(\omega_2-\omega_3)-y' \left( \bar{l}_{m'} \sum_{i=1,3} n_i \omega_i+W' \right) \tan \varphi_{m'} \right\} K(\bar{x}')_{m'} \end{aligned} \quad (3')$$

$$\theta' = \varphi_{m'} - \tan^{-1} dy'/d\bar{x}' = \varphi_{m'} + \tan^{-1} dy/d\bar{x} \quad (4')$$

### 3. 索条張力

$T_1$ : 原動車巻込側曳索張力 (kg)

$T_2$ : " 繰出側 " (kg)

$T_3$ : 緊張車繰出側平衡索張力 (kg)

$T_4$ : " 巻込側 " (kg)

$\rho_2$ : 搬器走行抵抗係数

$r$ : 停留場索条誘導装置抵抗係数<sup>2)</sup>

$$T_3 = \frac{G_3}{2}(1+r), \quad T_4 = \frac{G_3}{2}(1-r)$$

$$T_1 = \left[ n_3 T_3 + n_3 \omega_3 \left\{ \sum_{j=0}^{m-1} h_j + \bar{x} \sin \varphi_m + \left( \sum_{j=0}^{m-1} l_j + \bar{x} \cos \varphi_m \right) \rho_1 \right\} + W \right. \\ \left. \times (\sin \theta + \rho_2 \cos \theta) + n_2 \omega_2 \left[ \sum_{j=m+1}^k h_j + (\bar{l}_m - \bar{x}) \sin \varphi_m \right. \right. \\ \left. \left. + \left\{ \sum_{j=m+1}^k l_j + (\bar{l}_m - \bar{x}) \cos \varphi_m \right\} \rho_1 \right] \right] (1+r) \quad (5)$$

$$T_2 = \left[ n_3 T_4 + n_3 \omega_3 \left\{ \sum_{j=0}^{m'-1} h_j + \bar{x}' \sin \varphi_{m'} - \left( \sum_{j=0}^{m'-1} l_j + \bar{x}' \cos \varphi_{m'} \right) \rho_1 \right\} + W' \right. \\ \left. \times (\sin \theta' - \rho_2 \cos \theta') + n_2 \omega_2 \left[ \sum_{j=m'+1}^k h_j + (\bar{l}_{m'} - \bar{x}') \sin \varphi_{m'} \right. \right. \\ \left. \left. - \left\{ \sum_{j=m'+1}^k l_j + (\bar{l}_{m'} - \bar{x}') \cos \varphi_{m'} \right\} \rho_1 \right] \right] (1-r) \quad (6)$$

#### 4. 運転動力: $N$ (kW)

$v$ : 曳索速度 (m/sec) } とすれば  
 $\eta$ : 機械効率

$$N = 0.0098 (T_1 - T_2) v / \eta \quad (7)$$

したがって、 $v, \eta$  を定めれば、(5), (6), (7) 式を用いて、所要動力が求まる。

なお、 $v, \eta$  が一定の区間においては

$$N = \kappa (T_1 - T_2) \quad \text{ここに } \kappa = 0.0098 v / \eta = \text{const}$$

$$\therefore \frac{dN}{d\bar{x}} = \frac{\kappa d(T_1 - T_2)}{d\bar{x}} \\ = \kappa \left[ n_3 \omega_3 \left\{ (\sin \varphi_m + \rho_1 \cos \varphi_m)(1+r) + (\sin \varphi_{m'} - \rho_1 \cos \varphi_{m'})(1-r) \right\} \right. \\ \left. + W (\cos \theta - \rho_2 \sin \theta) \frac{d\theta}{d\bar{x}} (1+r) - W' (\cos \theta' + \rho_2 \sin \theta') \frac{d\theta'}{d\bar{x}} \right. \\ \left. \times (1-r) - n_2 \omega_2 \left\{ (\sin \varphi_m + \rho_1 \cos \varphi_m)(1+r) + (\sin \varphi_{m'} - \rho_1 \cos \varphi_{m'}) \right. \right. \\ \left. \left. \times \cos \varphi_{m'} (1-r) \right\} \right] \quad (8)$$

$$\frac{d^2 N}{d\bar{x}^2} = \frac{\kappa d^2 (T_1 - T_2)}{d\bar{x}^2} \\ = \kappa \left[ W \left\{ (-\sin \theta - \rho_2 \cos \theta) \left( \frac{d\theta}{d\bar{x}} \right)^2 + (\cos \theta - \rho_2 \sin \theta) \frac{d^2 \theta}{d\bar{x}^2} \right\} \right. \\ \left. \times (1+r) - W' \left\{ (-\sin \theta' + \rho_2 \cos \theta') \left( \frac{d\theta'}{d\bar{x}} \right)^2 + (\cos \theta' + \rho_2 \sin \theta') \right. \right. \\ \left. \left. \times \frac{d^2 \theta'}{d\bar{x}^2} \right\} (1-r) \right] \quad (9)$$

ここに

$$\frac{d\theta}{d\bar{x}} = - \left\{ 1 + \left( \frac{dy}{d\bar{x}} \right)^2 \right\}^{-1} \cdot \frac{d^2y}{d\bar{x}^2}$$

$$\frac{d\theta'}{d\bar{x}} = \left\{ 1 + \left( \frac{dy'}{d\bar{x}} \right)^2 \right\}^{-1} \cdot \frac{d^2y'}{d\bar{x}^2}$$

$$\frac{d^2\theta}{d\bar{x}^2} = - \left\{ 1 + \left( \frac{dy}{d\bar{x}} \right)^2 \right\}^{-1} \left( 2 \frac{d\theta}{d\bar{x}} \cdot \frac{dy}{d\bar{x}} \cdot \frac{d^2y}{d\bar{x}^2} + \frac{d^3y}{d\bar{x}^3} \right)$$

$$\frac{d^2\theta'}{d\bar{x}^2} = \left\{ 1 + \left( \frac{dy'}{d\bar{x}} \right)^2 \right\}^{-1} \left( 2 \frac{d\theta'}{d\bar{x}} \cdot \frac{dy'}{d\bar{x}} \cdot \frac{d^2y'}{d\bar{x}^2} + \frac{d^3y'}{d\bar{x}^3} \right)$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2y}{d\bar{x}^2} = & \left\{ -2W - \bar{l}_m (n_1 w_1 + 2n_2 w_2 - n_3 w_3) + 3n_2 (w_2 - w_3) \bar{x} - 2 \frac{dy}{d\bar{x}} \right. \\ & \left. \times \left( \bar{l}_m \sum_{i=1,3} n_i w_i + W \right) \tan \varphi_m \right\} K(\bar{x})_m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2y'}{d\bar{x}^2} = & \left\{ -2W' - \bar{l}_{m'} (n_1 w_1 + 2n_2 w_2 - n_3 w_3) + 3n_2 (w_2 - w_3) \bar{x}' - 2 \frac{dy'}{d\bar{x}} \right. \\ & \left. \times \left( \bar{l}_{m'} \sum_{i=1,3} n_i w_i + W' \right) \tan \varphi_{m'} \right\} K(\bar{x}')_{m'} \end{aligned}$$

$$\frac{d^3y}{d\bar{x}^3} = 3 \left\{ n_2 (w_2 - w_3) - \frac{d^2y}{d\bar{x}^2} \left( \bar{l}_m \sum_{i=1,3} n_i w_i + W \right) \tan \varphi_m \right\} K(\bar{x})_m$$

$$\frac{d^3y'}{d\bar{x}^3} = -3 \left\{ n_2 (w_2 - w_3) - \frac{d^2y'}{d\bar{x}^2} \left( \bar{l}_{m'} \sum_{i=1,3} n_i w_i + W' \right) \tan \varphi_{m'} \right\} K(\bar{x}')_{m'}$$

一例として、(図-3)に示す索道について、3線交走式、支索46mm、曳索22mm、平衡索18mm、搬器自重2000kg、定員41人、速度5m/secとして計算した結果を(図-4)に示す。ただし、動力値は、 $\bar{x}_m$ について求めた後、 $\bar{x}_m \rightarrow t_{sec}$ に置換したものである。

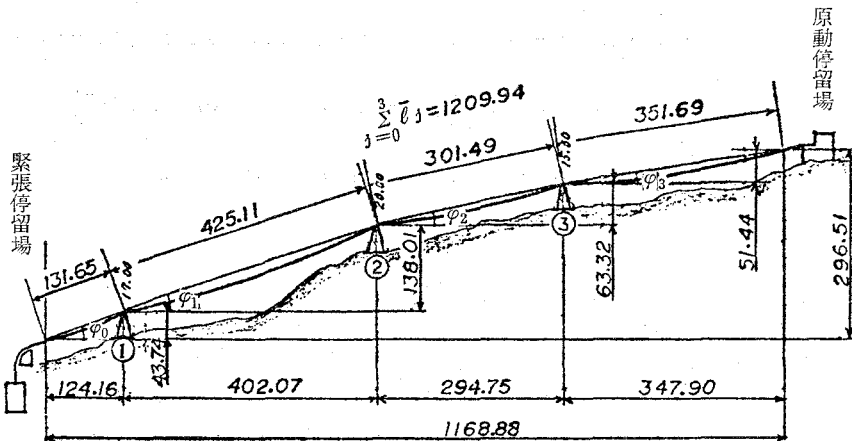


図-3 線路縦断面図

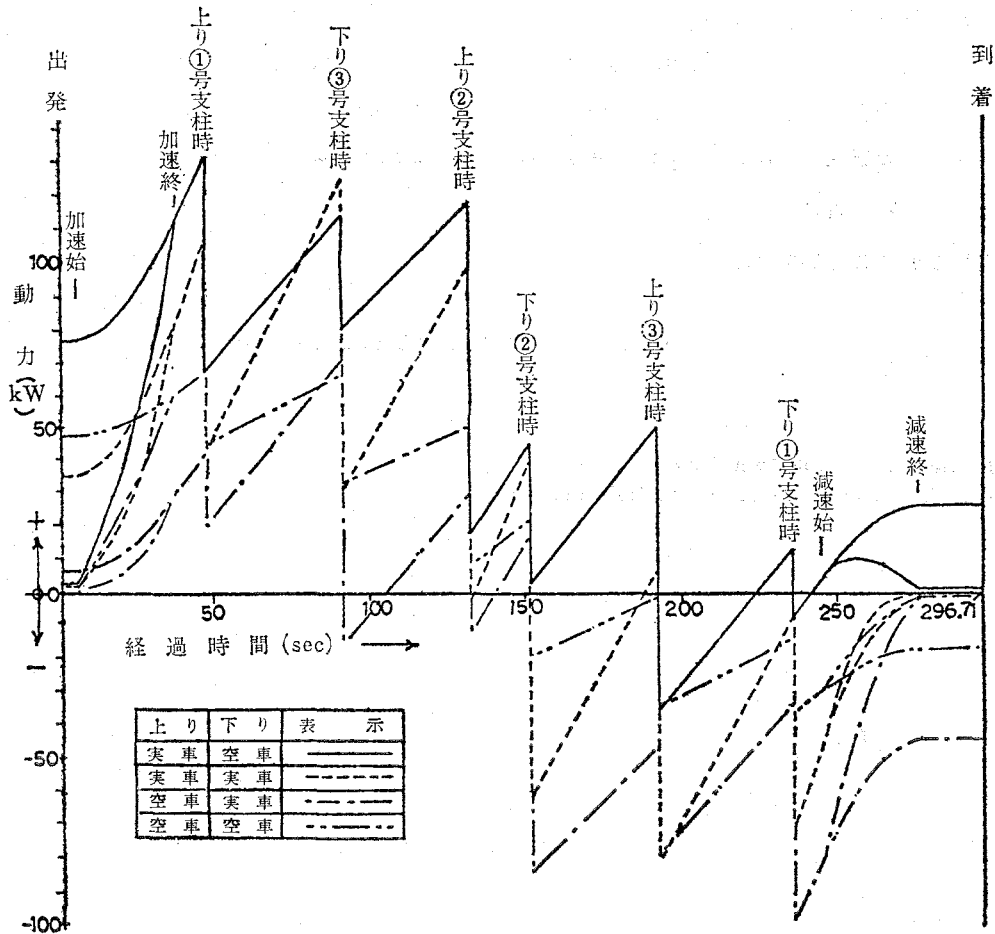


図-4 搬器各点通過時における所要動力

### 5. 結 言

以上、斜径上の動力計算をまとめると次のようになる。

- i. 線路、支柱、索条、緊張重錘等の諸条件を設定する。
- ii. 各径間毎に、上り側  $\bar{x}$  に対応する下り側  $\bar{x}'$  を求める。

$$\bar{x}' = F_0(\bar{x})$$

iii. 上り側

下り側

$$\left\{ \begin{array}{l} K(\bar{x})_m = F_1(\bar{x}) \\ y_m = F_2\{\bar{x}, K(\bar{x})_m\} \\ \mathbf{d}y_m/\mathbf{d}\bar{x} = F_3\{\bar{x}, y_m, K(\bar{x})_m\} \\ \theta_m = F_4(\mathbf{d}y_m/\mathbf{d}\bar{x}) \\ T_{1m} = F_5(\bar{x}, \theta_m) \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} K(\bar{x}')_{m'} = F'_1(\bar{x}') \\ y_{m'} = F'_2\{\bar{x}', K(\bar{x}')_{m'}\} \\ \mathbf{d}y_{m'}/\mathbf{d}\bar{x}' = F'_3\{\bar{x}', y_{m'}, K(\bar{x}')_{m'}\} \\ \theta_{m'} = F'_4(\mathbf{d}y_{m'}/\mathbf{d}\bar{x}') \\ T_{2m'} = F'_5(\bar{x}', \theta_{m'}) \end{array} \right.$$



$$\text{vi. } N = F_6(T_{1m}, T_{2m}, v, \eta)$$

結局  $N = F_7(\bar{x})$  として求まる。この結果は、定常運転における値である。

v. 斜径上、各点における動力変化は、 $dN/d\bar{x}$ ,  $d^2N/d\bar{x}^2$  により計算される。

iv. 運転速度計画により、 $\bar{x} \rightarrow t$  (経過時間 sec) に置換すれば

$$N = F_8(t)$$

として表わすことができる。

(昭和49年5月20日受理)

(1973年10月 日本機械学会北海道支部講演会発表)

#### 文 献

- 1) 岩津 功: 北海道索道協会研報, 2 (1974, 5).
- 2) E. C. Hind: Wire Indust., 31 (367), 694 (1964).