

H型架線(WY型架線)における静力学的研究 (1)

基本解法および軌索の最大張力を与えた場合の算定法

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
著者名	鈴木,正之
発行元	日本林學會
巻/号	67巻2号
巻号補足	
掲載ページ	p. 39-50
発行年月	1985年2月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



論 文

H型架線(WY型架線)における静力学的研究(I)

基本解法および軌索の最大張力を与えた場合の算定法*

鈴木 正之**

鈴木正之: H型架線(WY型架線)における静力学的研究(I) 基本解法および軌索の最大張力を与えた場合の算定法 日林誌 67: 39~50, 1985 ここでH型架線と称するのは、搬器がその上を走行する集材索と、集材索の方向を変えるためにその両端にV字状に設けた案内索とより成る架線である。両案内索はそれぞれその全長を一定に保ったまま操作され、集材索を所定の方向へ向け、集材索の索張りを調整した後、集材索直下の集材を行う。本報ではまず各索線が1本の索から成る単純モデルを対象にして、半等価架線に放物線索理論を適用した近似算定法を与え、その精度を検討するとともに、この架線のもつ基本的な力学的諸性質を明らかにした。次に集材索が軌索、作業索とから成る現実の索張り方式を取りあげ、軌索の最大張力が許容張力と等しくなる場合の諸量を求める算定法を、a. 所定の搬器荷重が与えられるとき、b. 所定の荷重点垂下量が与えられるときについて誘導した。算定法は実用算定法と精密算定法とを与えたが、前者の精度はかなり良好であった。広範囲な計算から、これら算定法が、この架線設計上の諸問題を検討するうえで、有効であることがわかった。

SUZUKI, Masayuki: The H-type (WY-type) cable crane system(I) Fundamental solution and computation methods of design factors giving allowable tension to the track cable J. Jap. For. Soc. 67:39~50, 1985 The H-type cable crane consists of a skidding cable on which a carriage runs, and guide cables connected with both ends of the skidding cable having V-shaped plane figures. The guide cables, in fixed length, change the direction of the skidding cable to the location of felled timbers, and then the tension of the skidding cable will be adjusted by changing its length. This study, in its first part, develops a practical computation method which is based on the theory of a parabolic cable applied to a "semi-equivalent cable." The fundamental properties of the crane were clarified by an investigation of the results of calculations. The second part of the study focuses on the problem of an actual H-type cable crane system in which the skidding cable consists of a track cable and an endless operating line handling a hoisting carriage. Both a method of precise computation and a practical method for numerical values of the design factors are derived for the following two cases: a. where maximum tension of the track cable suspending the fixed load is equal to the allowable tension, and b. where maximum tension of the track cable with the fixed loaded deflection is equal to the allowable tension. The results of calculations showed that these methods are of use for investigating the problems of planning a cable.

I. はじめに

ここにいうH型架線とは、集材架線の元柱側、先柱側に、それぞれV字形の案内索を逆向きに組み込むことにより、いわゆる面的集材を行うものをいう。したがって力学的諸性質ならびに集材のための操作において、通常のH型架線(1, 2, 4~6)とは異なるものであり、両者は厳

密に区別されるべきものであるが、この研究では簡単のため、以下においてこれをH型架線とよぶ。

筆者はさきにY型架線において、その静力学的問題の解法(7, 10, 11)を与えたが、その特性から、集材の効率を上げるための改善策としてH型架線の適用を示唆した(12)。H型架線そのものは、10年ほど前からY型架線とともに東海パルプ井川山林で試用され、数年前から

* 本報告の一部は第92回日本林学会大会(1981)で発表した。

** 筑波大学農林工学系 Inst. of Agr. & For. Eng., Univ. of Tsukuba, Tsukuba Science City, Ibaraki 305

は山梨県県有林で天然林択伐材の集材に用いられている。この架線方式は、架設・撤去の副作業に多くの労力を要するという性格上、比較的大面積の集材に適するものと思われるが、林地、林木の保全上すぐれており、また現存の機械・装備で作業ができることなどから、今後とも亜高山地帯を中心とする択伐あるいは漸伐作業の適地においては、積極的に適用を検討すべきものと思われる。ここにその力学的諸性質を明らかにしておくことは、意義のあることと筆者は考える。

図-1 は、この架線の主要部分がそれぞれ1本の索より成る単純化されたモデルを示したものである。ここで索 $\overline{E_1E_2}$ を集材索、索 $\overline{E_2B_2}$ および $\overline{E_2C_2}$ を先柱側(右方)案内索、点 E_2 を先柱側(右方)結合点とよび、索 $\overline{E_1B_1}$ および $\overline{E_1C_1}$ を元柱側(左方)案内索、点 E_1 を元柱側(左方)結合点とよぶ。これらは4点 B_1, C_1, B_2, C_2 で支えられ、集材索上の1点 D に搬器荷重として鉛直荷重 P が加わり、点 E_1, E_2 に結合点金具重量として鉛直荷重 Q_1, Q_2 が加わる。左右の結合点は、それぞれ左右の案内索を定索長状態で操作することによって動かすことができ、かくして集材索を所定方向へ向けてからその索張りを調整し、しかるのち、集材索を定索長状態として負荷を加える。以下では、集材索上に集中荷重 P が加わらない場合を無負荷状態とよび、また結合点を含めた元柱側または先柱側案内索に関する諸要素を、それぞれ添字 $i=1$ または 2 で表わすものとする。

本報告では、H型架線の集材索、案内索などの張力および荷重点の垂下量など、静力学的問題を取り上げ、以下の事項について検討した結果を述べる。

1) 上記の単純モデルにおいて、H型架線解法の基本式として、結合点の垂下量と索張力の水平分力との関係を与える公式を誘導し、これに基づいて諸量を求める近似解法の算定式を与える。その計算結果から、近似解法の精度について検討し、まずH型架線の諸量間の基本的諸関係を明らかにする。

2) 集材索が軌索と作業索とから成るという現実のH型架線を想定した索張りにおいて、a. 所定の搬器荷重 P_a に対する軌索の最大張力が、その許容張力 T_a と等しくなる場合、および、b. 軌索の最大張力 T_a に対する荷重点垂下量の最大値が、所定の値 f_a と一致する場合について、それぞれ荷重点垂下量の最大値、搬器荷重、ならびにその他諸量を求める方法を提示する。算定法として、軌索、案内索などの各索線をいずれも垂曲線として扱う精密算定法と、それらを放物線として扱う実用算定法とを与えるが、計算の結果から、各索張力など諸量の一般的傾向、および実用算定値の精度などについて

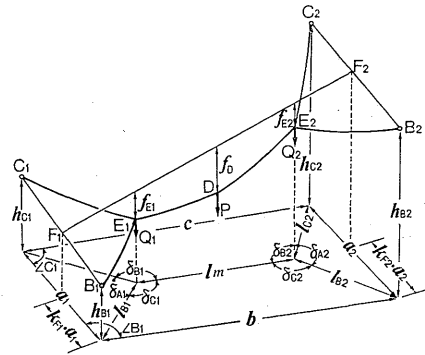


図-1. H型(WY型)架線の基本モデル
Model of the H-type cable crane

て検討する。

なお、Y字形部分の力学的性質に関する解析については、Y型架線のそれとまったく同一であり、詳細については文献(10)を参照されるようお願いする。

II. 単純モデルによる基本解法

1. 結合点の垂下量と索張力の水平分力との関係

図-1において、集材索 $\overline{E_1E_2}$ の索長を L_m 、単位長重量を p 、点 E_1 からの重心位置係数を k_c とし、案内索 $\overline{E_iB_i}$ 、 $\overline{E_iC_i}$ ($i=1, 2$) のそれぞれについて、索長を L_{B_i} 、 L_{C_i} 、結合点からの重心位置係数を k_{CB_i} 、 k_{CC_i} とし、単位長重量を p_i' とする。また案内索ならびに集材索の水平面への投影がなす角を、図に示すようにそれぞれ δ_{A_i} 、 δ_{B_i} 、 δ_{C_i} 、案内索の結合点からの支間長を l_{B_i} 、 l_{C_i} などとする。 E_1E_2 間の荷重 P の点 E_1 からの位置係数を k_m とする。

いま、点 E_1, E_2 を通る鉛直面がそれぞれ直線 $\overline{B_iC_i}$ と交わる点を F_i とし、 F_1E_1 間、 E_1E_2 間、 E_2F_2 間の水平距離をそれぞれ l_{F1} 、 l_m 、 l_{F2} 、また結合点 E_i の直線 $\overline{F_iF_2}$ からの垂下量を f_{Ei} とすれば、集材索の張力の水平分力を与える次式を得る(補注参照)。

$$H_F = \frac{(l_m + l_{F1}) W_{T2}}{l_{S_{E2}}} \quad (1)$$

$$H_F = \frac{(l_m + l_{F2}) W_{T1}}{l_{S_{E1}}} \quad (1')$$

ただし

$$\left. \begin{aligned} W_{T2} &= L_m p (l_{F1} + k_c l_m) / (l_{F1} + l_m) \\ &\quad + P k l / (l_{F1} + l_m) + P_{01} l_{F1} / (l_{F1} + l_m) \\ &\quad + P_{02} \\ W_{T1} &= L_m p \{ l_{F2} + (1 - k_c) l_m \} / (l_{F2} + l_m) \\ &\quad + P (1 - k) l / (l_{F2} + l_m) + P_{02} l_{F2} / (l_{F2} \\ &\quad + l_m) + P_{01} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

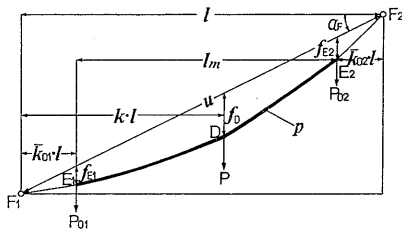


図-2. H型架線の半等価架線
“Semi-equivalent cable” for the H-type cable crane

$$\left. \begin{aligned} k &= (l_{F1} + k_m l_m) / l \\ l &= l_{F1} + l_m + l_{F2} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$s_{Ei} = f_{Ei} / l_{Fi} \quad (4)$$

$$P_{0i} = L_{Bi} p_i' (1 - k_{cBi}) + L_{Ci} p_i' (1 - k_{cCi}) + Q_i \quad (5)$$

H_F が求まれば、各案内索の張力の水平分力は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} H_{Bi} &= H_F \frac{\sin \delta_{Bi}}{\sin \delta_{Ai}} \\ H_{Ci} &= H_F \frac{\sin \delta_{Ci}}{\sin \delta_{Ai}} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

(4) 式の s_{Ei} を結合点垂下係数とよぶが、これらは相互に関連して定まるものである。ここでは s_{E2} (または s_{E1}) を H 型架線における索の緊張度を示すパラメータとして用いる。負荷の変動によって、結合点は鉛直方向に移動し、 s_{Ei} はかなり大幅な変化をするが、 l_m , δ_{Ai} , δ_{Bi} , δ_{Ci} などの変化は微小であり、諸索の張力の水平分力は、主として W_{Ti} , s_{Ei} によって支配される。なお厳密には、左右の案内索を固定しても、負荷の変動によって集材索の方向はわずかではあるが振れるものがあるが、本報告では、この種の振れがないものとして諸公式を誘導する。

図-2 は、H 型架線の集材索の静力学の問題に関するかぎり、まったく同じであることを確かめることのできる 1 本の索を示したものである。すなわち、2 点 F_1, F_2 間に架設された索で、 $\overline{E_1 E_2}$ 部分は元の H 型架線と同一であり、 $\overline{F_1 E_1}$ 部分および $\overline{E_2 F_2}$ 部分は自重のない索より成り、結合点 E_i にそれぞれ P_{0i} が加わっている。この架線を H 型架線の半等価架線とよぶことにする。

〔補 注〕

図-1 において、点 E_1 より右方の集材索、案内索を含む Y 形部、点 E_2 より左方の同じく集材索、案内索を含む Y 形部において、それぞれのつり合いから、集材索張力の水平分力 H_m を、図-3 に示す $\overline{F_1 F_2}$ を含む縦断面図における記号を用いて次のように表わすことができる(10)。

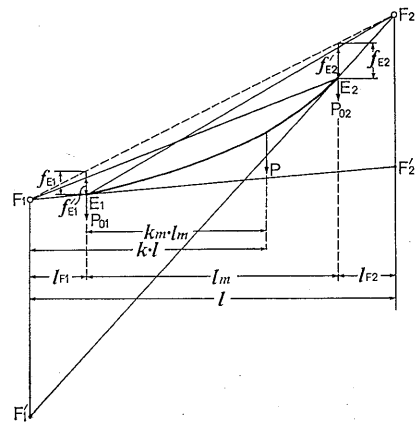


図-3. H 型架線の $E_1 E_2$ 方向の縦断面図
Vertical section via points E_1 and E_2

$$\left. \begin{aligned} H_m &= \frac{l_m W_{T2}'}{(l_m + l_{F2}) s_{E2}'} \\ H_m &= \frac{l_m W_{T1}'}{(l_m + l_{F1}) s_{E1}'} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

ただし、

$$W_{T2}' = L_m p k_c + P k_m + P_{02}$$

$$W_{T1}' = L_m p (1 - k_c) + P (1 - k_m) + P_{01}$$

$$s_{Ei}' = f_{Ei}' / l_{Fi}$$

P_{0i} : (5) 式と同じ

図-3 において、 $\overline{F_2 E_2}$ の延長と点 F_1 を通る鉛直線との交点を F_1' 、 $\overline{F_1 E_1}$ の延長と点 F_2 を通る鉛直線との交点を F_2' とすれば、(7) 式の第 1 式、第 2 式間の関係から次式を得る。

$$\begin{aligned} \overline{F_1 F_1'} &= l s_{E2} = \{(l_m + l_{F2}) s_{E2}' + f_{E1}'\} (l_m + l_{F1}) / l_m \\ &= \left\{ \frac{l_{F1} W_{T1}' + (l_m + l_{F1}) W_{T2}'}{l_m W_{T2}'} \right\} (l_m + l_{F2}) s_{E2}' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overline{F_2 F_2'} &= l s_{E1} = \{(l_m + l_{F1}) s_{E1}' + f_{E2}'\} (l_m + l_{F2}) / l_m \\ &= \left\{ \frac{l_{F2} W_{T2}' + (l_m + l_{F2}) W_{T1}'}{l_m W_{T1}'} \right\} (l_m + l_{F1}) s_{E1}' \end{aligned}$$

これらの関係を、それぞれ (7) 式の第 1 式、第 2 式に適用し、 H_m を H_F とおくことにより、(1), (1)' 式を得る。

2. 近似解法の算定式

まず集材索の方向は、図-1 に示すように $\overline{B_i C_i}$ 上における点 F_i のそれぞれ点 B_i より位置係数 k_{Fi} で示し、また $\overline{B_i C_i}$ 方向の傾斜角を β_i とし、案内索 $\overline{B_i E_i C_i}$ の索長を L_{Gi} とするが、ここで $B_i C_i$ 間の斜距離 $\overline{a_i} = a_i \sec \beta_i$ と案内索の長さの比を $\rho_i = \overline{a_i} / L_{Gi}$ で表わすものとする。

本節の算定式は、支間条件(図-1 において $a_1, b, c, \angle B_1, \angle C_1, h_{B1}, h_{C1}$ など)、左右の案内索長 ($L_{B1} + L_{C1} =$

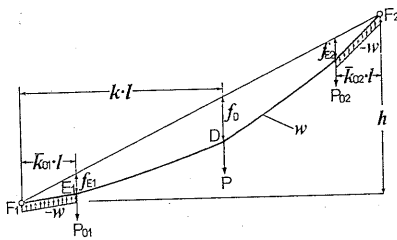


図-4. 半等価架線 (放物線索理論)
Semi-equivalent cable by the parabolic
cable theory

$L_{Gi} = \overline{a_i}/\rho_i$, 集材索の方向 (k_{Fi}), 索張り (s_{E2}), 諸索の単位長重量 (p, p_i), 集中荷重 (Q_i) 等を与えたとき, 集材索の方向を変えるごとに, 無負荷状態において, 右方結合点垂下係数が所定の値 s_{E02} となるように集材索の緊張度を調整したときの諸量, ならびに以後集材索を定索長として, その所定の位置に P を加えた場合の諸量, すなわち, 諸索の張力, 荷重点垂下量などを求めることを問題とする (左方の結合点垂下係数を所定の値 s_{E01} とする場合においても同様の解法が成り立つ)。近似解法はいうまでもなく放物線索理論に基づくものであるから, (2), (5) 式において, 諸索の重心位置係数は $1/2$ となる。

図-4 に示す架線は, 図-2 に示す半等価架線と力学上まったく等価である。これは水平方向に単位長重量 $w (= p \times F_1 F_2 / l)$ なる索が, 点 D に P を, 支点 F_1 より位置係数 $\bar{k}_{01}$ なる点 E_1 に P_{01} , 支点 F_2 より位置係数 $\bar{k}_{02}$ なる点 E_2 に P_{02} を, また $F_1 E_1$ 間, $E_2 F_2$ 間に強さ $-w$ なる等分布荷重を受けるものである。

この架線の原因索垂下比を s とすれば, 張力の水平分力は次式で表わされる。

$$H_F = \frac{W}{8s} G \quad (8)$$

ただし, $W = up$: $F_1 F_2$ 間の全索重量, u : $F_1 F_2$ 間の斜距離

G は負荷係数で, 公式 (3) により

$$\begin{aligned} G = & \left[1 + 12 \left\{ - \int_0^{\bar{k}_{01}} t(1-t) dt + (n_{01} + n_{01}^2) \right. \right. \\ & \times \bar{k}_{01}(1-\bar{k}_{01}) + (n+n^2)k(1-k) + (n_{02} \\ & + n_{02}^2)\bar{k}_{02}(1-\bar{k}_{02}) - \int_{1-\bar{k}_{02}}^1 t(1-t) dt \left. \right\} \\ & + 24 \left(\int_0^{\bar{k}_{01}} t \int_t^{\bar{k}_{01}} (1-t') dt' dt + \left\{ -n_{01}(1-\bar{k}_{01}) \right. \right. \\ & - n(1-k) - n_{02}\bar{k}_{02} + \int_{1-\bar{k}_{02}}^1 (1-t') dt' \left. \right\} \int_0^{\bar{k}_{01}} t dt \\ & + n_{01}\bar{k}_{01} \left\{ n(1-k) + n_{02}\bar{k}_{02} - \int_{1-\bar{k}_{02}}^1 (1-t) dt \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & + n\bar{k} \left\{ n_{02}\bar{k}_{02} - \int_{1-\bar{k}_{02}}^1 (1-t) dt \right\} \\ & - n_{02}(1-\bar{k}_{02}) \int_{1-\bar{k}_{02}}^1 (1-t) dt \\ & + \int_{1-\bar{k}_{02}}^1 t \int_t^1 (1-t') dt' dt \left. \right]^{1/2} \\ = & [1 - \bar{k}_{01} \{ \bar{k}_{01} \{ 6 - 8\bar{k}_{01} + 3\bar{k}_{01}^2 + 12n(1-k) \} \\ & - 12n_{01} \{ (1-\bar{k}_{01})(1+n_{01}-\bar{k}_{01}) + 2n(1-k) \} \} \\ & - \bar{k}_{02} \{ \bar{k}_{02} \{ 6 - 8\bar{k}_{02} + 3\bar{k}_{02}^2 + 12n\bar{k} \} \\ & - 12n_{02} \{ (1-\bar{k}_{02})(1+n_{02}-\bar{k}_{02}) + 2n\bar{k} \} \} \\ & + 6\bar{k}_{01}\bar{k}_{02} \{ \bar{k}_{01}\bar{k}_{02} - 2(n_{01}\bar{k}_{02} + n_{02}\bar{k}_{01} - 2n_{01}n_{02}) \} \\ & + 12n(1+n)\bar{k}(1-k)]^{1/2} \quad (9) \end{aligned}$$

ただし, $n = P/W$, $n_{01} = P_{01}/W$, $n_{02} = P_{02}/W$

無負荷状態の負荷係数は $n=0$ とおき,

$$\begin{aligned} G_0 = & [1 - \bar{k}_{01} \{ \bar{k}_{01} \{ 6 - 8\bar{k}_{01} + 3\bar{k}_{01}^2 \} \\ & - 12n_{01}(1-\bar{k}_{01})(1+n_{01}-\bar{k}_{01}) \} \\ & - \bar{k}_{02} \{ \bar{k}_{02} \{ 6 - 8\bar{k}_{02} + 3\bar{k}_{02}^2 \} \\ & - 12n_{02}(1-\bar{k}_{02})(1+n_{02}-\bar{k}_{02}) \} + 6\bar{k}_{01}\bar{k}_{02} \{ \bar{k}_{01}\bar{k}_{02} \\ & - 2(n_{01}\bar{k}_{02} + n_{02}\bar{k}_{01} - 2n_{01}n_{02}) \}]^{1/2} \quad (10) \end{aligned}$$

無負荷状態の集材索張力の水平分力を H_{F0} とすれば, 半等価架線の原因索垂下比に相当するものは

$$s = \frac{WG_0}{8H_{F0}} \quad (11)$$

で求め, (8) 式に (11) 式を代入すれば,

$$H_F = H_{F0} \frac{G}{G_0} \quad (12)$$

から, 負荷状態の集材索張力の水平分力を得る。

集材索の結合点 E_i における索傾斜は,

$$\left. \begin{aligned} \tan \theta_2 &= \tan \alpha_F + 4s \{ (1-\bar{k}_{02})^2 - \bar{k}_{01} + 2n\bar{k} \\ &+ 2(n_{01}\bar{k}_{01} - n_{02}\bar{k}_{02}) \} / G \\ \tan \theta_1 &= \tan \alpha_F - 4s \{ (1-\bar{k}_{01})^2 - \bar{k}_{02} \\ &+ 2n(1-k) - 2(n_{01}\bar{k}_{01} - n_{02}\bar{k}_{02}) \} / G \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

ただし, α_F : $\overrightarrow{F_1 F_2}$ 方向の支間傾斜角

また, 点 D, E_2, E_1 における荷重点垂下量は

$$\begin{aligned} f_D &= 4ls \{ k(1-k)(1+2n) + (1-k)\bar{k}_{01}(2n_{01}-\bar{k}_{01}) \\ &+ k\bar{k}_{02}(2n_{02}-\bar{k}_{02}) \} / G \quad (14) \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} f_{E2} &= 4ls \bar{k}_{02} \{ (1-\bar{k}_{02})^2 - \bar{k}_{01}^2 + 2n\bar{k} \\ &+ 2n_{01}\bar{k}_{01} + 2n_{02}(1-\bar{k}_{02}) \} / G \\ f_{E1} &= 4ls \bar{k}_{01} \{ (1-\bar{k}_{01})^2 - \bar{k}_{02}^2 \\ &+ 2n(1-k) + 2n_{01}(1-\bar{k}_{01}) \\ &+ 2n_{02}\bar{k}_{02} \} / G \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

より求められる。なお (15) 式より, 結合点垂下係数はそれぞれ

$$\begin{aligned} s_{E2} &= \frac{W}{2H_F} \{ (1-\bar{k}_{02})^2 - \bar{k}_{01}^2 + 2n\bar{k} + 2n_{01}\bar{k}_{01} \\ &+ 2n_{02}(1-\bar{k}_{02}) \} = \frac{(I_m + I_{F1})W_{T2}}{lH_F} \quad (16) \end{aligned}$$

$$s_{E1} = \frac{W}{2H_F} \left\{ (1 - \bar{k}_{01})^2 - \bar{k}_{02}^2 + 2n(1-k) \right. \\ \left. + 2n_{01}(1 - \bar{k}_{01}) + 2n_{02}\bar{k}_{02} \right\} \\ = \frac{(l_m + l_{F2})W_{T1}}{lH_F}$$

となる。この関係は(1)式および(1)'式とまったく同じものである。

これらの式を使用するに当たって、考慮する点は以下のとおりである。

④ 負荷の変化による結合点 E_i の前後方向の移動量は微小であるから、 δ_{Ai} 、 δ_{Bi} 、 δ_{Ci} などを算出する場合を除いて、負荷状態の l_{F1} 、 l_m 、 l_{F2} の値は近似的に無負荷状態のものと等しいものとみなし、計算の簡易化をはかる。

⑤ 負荷の前後における $\overline{E_i F_i}$ の長さを u_{F0i} および u_{Fi} とするとき、その差に対して次式で算出される垂下比補正係数 ε を用いて補正する。

$$\varepsilon = \left\{ 1 + \frac{3 \Delta u_F}{8 u (s \cos^2 \alpha_F)^2} \right\}^{1/2} \quad (17)$$

ただし、 $\Delta u_F = \sum u_{Fi} - \sum u_{F0i}$

⑥ 算定値の精度を保つため、案内索については次式より索長を算出し、索長比 e を考慮する。

$$\left. \begin{aligned} L_{Bi} &= u_{Bi} \left\{ 1 + \left(\frac{u_{Bi} p_i'}{H_{Bi}} \right)^2 \frac{\cos \alpha_{Bi}}{24} \right\} \\ L_{Ci} &= u_{Ci} \left\{ 1 + \left(\frac{u_{Ci} p_i'}{H_{Ci}} \right)^2 \frac{\cos \alpha_{Ci}}{24} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

ただし、 α_{Bi} 、 α_{Ci} ：それぞれの案内索の結合点からの支間傾斜角、 u_{Bi} 、 u_{Ci} ：それぞれの案内索の支間斜距離

$$e_i = \frac{L_{Ci}}{u_{Bi} + u_{Ci}} \quad (19)$$

〔計算手順 1〕

① 結合点垂下係数が s_{E02} となるように、集材索の索張りを調整したときの無負荷状態での諸量を算定する。まず s_{E01} の近似値を $s_{E01} \doteq s_{E02}$ とし、また e_i の近似値を $e_i \doteq 1$ とし、Y型架線の場合と同様な手順で u_{F0i} 、 l_{Fi} 、 l_m 、 l_{Bi} 、 l_{Ci} などを求め、(1)式より H_{F0} を算出する。また、この H_{F0} を用い(1)'式より s_{E01} を逆算により求める。続いて δ_{Ai} 、 δ_{Bi} 、 δ_{Ci} などを算出し、(6)式より H_{B0i} 、 H_{C0i} を、(18)、(19)式より e_i の概算値 e_{0i} を求める。このようにして求められた s_{E01} と e_{0i} とにより、上記の計算を再度行うことにより、無負荷状態での諸量を得る。

② ステップ①の計算で同時に W 、 $\bar{k}_{0i}$ 、 n 、 n_{0i} などが定まり、(10)式から G_0 、(9)式から G を算出し、(12)式から負荷状態における H_F を求め、 H_F に対する s_{Ei} の値を(16)式から算出する。

③ u_{Fi} 、 l_m 、 l_{Bi} 、 l_{Ci} 、 δ_{Ai} 、 δ_{Bi} 、 δ_{Ci} などが、また(6)式により H_{Bi} 、 H_{Ci} などが求められ、負荷状態の諸量が求まる。

④ 垂下比補正係数 ε を(17)式より算出し、 s_{Ei} 、 f_D を ε 倍、 H_F 、 H_{Bi} 、 H_{Ci} を $1/\varepsilon$ 倍することにより、諸量の補正値が求まる。

⑤ 精度判定： s_{Ei} の補正値と未補正値との差が過大であれば、補正値を新たな近似値として設定し、ステップ③にもどる。

3. 計算結果と諸量の傾向

本項においては、まず前記の近似解法による計算値を精密解法による計算値と比較した場合の精度について述べ、次に集材索ならびに案内索の張力 T_i 、 T_{Bi} 、 T_{Ci} 、荷重点のたわみ比 f_D/l および s_{Ei} などの、負荷状態による変化の一般的傾向について、精密算定値を用いて検討する。精密解法というのは、すべての索線分を垂曲線とし、諸条件が厳密に満たされるような諸量を、逐次近似的に決定するものである。具体的計算法については紙数の関係から省略する。

なおここでは、現実に実施されている現場の諸条件を参考にして、標準的な一例として下記のとおり支間条件、荷重条件を設定している。 $a_1=300\text{m}$ 、 $b=800\text{m}$ 、 $c=850\text{m}$ 、 $\angle B_1=90^\circ$ 、 $\angle C_1=105^\circ$ 、 $h_{B1}=0\text{m}$ 、 $h_{C1}=20\text{m}$ 、 $h_{B2}=300\text{m}$ 、 $h_{C2}=350\text{m}$ 、 $Q_1=Q_2=70 \times p$ 、 $P=700 \times p$ 、 $p_1'/p=p_2'/p=1$ 、 $s_{E02}=0.2$ 。 ρ_i は集材索と案内索との張力のバランスを考慮して、 $\rho_1=0.86$ 、 $\rho_2=0.77$ とした。これら諸条件のもと、 k_{Fi} ならびに k を0.05から0.95までそれぞれ0.05間隔で変化させて諸量を算出したが、必要により上記諸条件自体を変化させて広範な計算を行った。

1) 近似計算法による諸量の精度

まず、 T_i 、 T_{Bi} 、 T_{Ci} 、 s_{Ei} 、 f_D 等の近似算定値の誤差率は、各集材索方向を通じて同程度である。図-5は、数種のものの算定値(その他のものもまったく同様の傾向にある)について、集材索の方向が $k_{Fi}=(0.5, 0.5)$ の場合(このときの $\tan \alpha_F$ は0.388)と、 $k_{Fi}=(0.2, 0.8)$ (同じく $\tan \alpha_F=0.377$)との二つの場合を例にとり、荷重位置係数 k による誤差の変化の状況を示したものである。すなわち垂下量でみた場合、 k の小さい範囲でいずれも安全側に大きいが、 k の増加とともに単調に減少し、 $k=0.6 \sim 0.7$ 付近でマイナス側に転ずる。張力の誤差は、対称的に危険側に大きく分布するものであるが、最大値でも3%以内、 $k=0.5$ においては1%内外にある。これらの算出に対応する計算回数は、 $k_{Fi}=(0.5, 0.5)$ では多くの場合1回の反復で足りるが、集

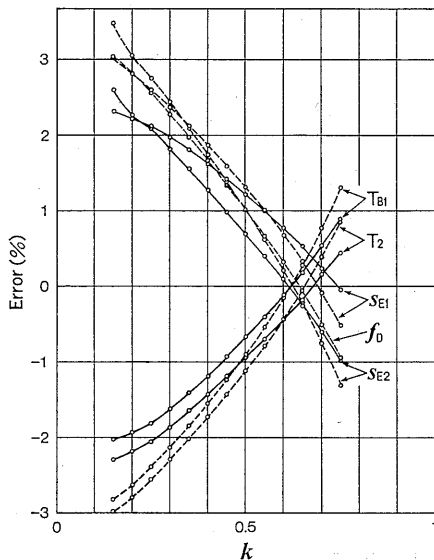


図-5. 近似計算法における諸量の精度

Errors of the values of T_{B1} (guide-cable tension), T_2 (skidding-cable tension), s_{Ei} ($i=1,2$: sag-span ratio at the connecting point E_i), f_D (loaded deflection) calculated from approximate formulas; to be varied with the load-position factor k (solid lines: $k_{Fi}=(0.2, 0.8)$, dashed lines: $k_{Fi}=(0.5, 0.5)$)

Span conditions: $a=300$ m, $b=800$ m, $c=850$ m, $\angle B=90^\circ$, $\angle C=105^\circ$, $h_{B1}=0$ m, $h_{B2}=300$ m, $h_{C1}=20$ m, $h_{C2}=350$ m, $\rho_1=0.86$, $\rho_2=0.77$, s_{E02} (sag ratio at the point E_2 in Eq. (4) under non-load condition)=0.2; load conditions: $P=700 \times p$, $Q_1=Q_2=70 \times p$, $p_1'/p=p_2'/p=1$

材索方向が転向してその両端が互いに案内索支点方向に接近するに従って回数を増加する。上記の $k_{Fi}=(0.2, 0.8)$ の場合には4~5回の反復計算を要しているが、この程度の回数を実用計算での限界として計算を打ち切るものとした場合、たとえば軌索方向 $k_{Fi}=(0.1, 0.8)$ の計算では、誤差が急増して信頼のおける算定値が得られない。広範な計算結果から、本近似計算法は集材索方向の範囲を $k_{Fi}=(0.15, 0.85) \sim (0.85, 0.15)$ に限定すれば、実用上、精度上から、問題ないものと考えられた。また一般に α_F が負の場合を含めて、支間傾斜度が緩くなるのに従って、誤差の絶対値が低減する傾向のあることが認められた。

2) 集材索の方向 k_{Fi} , 荷重位置 k による諸索の張力, 荷重点垂下量等の諸傾向

i) 集材索張力 T_i の k_{Fi} による変化は比較的小さく、 $k=0.5$ のときの T_2 でいえば、その最大・最小値はそれぞれ $5933.54 \times p$ (kg) $\{k_{Fi}=(0.25, 0.25)\}$, $4535.77 \times p$ (kg) $\{k_{Fi}=(0.05, 0.95)\}$ でその比は1.31

倍程度にすぎないが、案内索張力 T_{B1} , T_{C1} の変化は大きく、 T_{B1} の例でいえば、最大値は $5909.27 \times p_1'$ (kg) $\{k_{Fi}=(0.3, 0.65)\}$ で最小値 $815.40 \times p_1'$ (kg) $\{k_{Fi}=(0.95, 0.05)\}$ の7.25倍に達する。広範な計算から、一般には、集材索張力はその両端または一端が案内索支点方向にごく接近する場合 ($k_{Fi} \leq 0.15$ または ≥ 0.85 程度) を除けば、その変化は数%程度であり、これに対し案内索張力は、集材索の方向によって10倍程度に変動するものと考えてよいであろう。

次に、諸索の張力がそれぞれ極大となる荷重位置はほぼ一致し、そのときの位置係数は k_{Fi} の値に応じて $k=0.5 \sim 0.6$ の範囲にある。その前・後部の荷重位置に対しては、いうまでもなく索張力はいずれも単調に減少するものである。 $k_{F1}=k_{F2}$ の場合、極大値を示す荷重位置は $k=0.5$ であるが、両者の差が開くに従って漸増する傾向がある。図-5と同じ条件 $\{k_{Fi}=(0.2, 0.8)\}$ の場合では、 $(T_2)_{\max}$ は $k=0.6$ において $5641.53 \times p$ (kg) で、 $k=0.5$ における $T_2=5598.12 \times p$ (kg) に比し、0.78%増に相当する。一般に諸索の張力を極大とする荷重位置は、支間傾斜 α_F が負の場合を含めれば、 $k=0.4 \sim 0.6$ の範囲にあり、その位置は、理論的には(9)式で与えられる負荷係数 G を極大とする荷重位置係数 k_1 付近に定まるべきものである。しかしそれらの張力は、 $k=0.5$ のときの張力に比し、その差が微小であるから、設計上は $k=0.5$ のとき、諸索の張力が最大となると考えてよい。

ii) f_D/l , s_{Ei} については、まず両者とも k_{Fi} による変化は T_2 と同様の傾向を示し、集材索の両端または一端が案内索支点方向にごく接近する場合を除けば比較的小さく、同じ荷重位置における変化の幅は数%程度と考えてよいことがわかった。

次に f_D/l の k による変化は、ほぼ T_2 と同様の傾向を示すが、極大値は k_{Fi} の値に応じて $k=0.5 \sim 0.55$ の範囲内にあった。広範囲な計算から、主として支間条件から $k=0.45$ において極大値を示すこともあるが、いずれも $k=0.5$ における値との差は微小である。

s_{E2} については、 k_{Fi} の値に応じて $k=0.1 \sim 0.2$ の間に極小値をもち、以後 k の増加とともに単調に増加し、 $k=1-\bar{k}_{02}$ で最大となる。これに対し s_{E1} は、 $k=\bar{k}_{01}$ で最大値をとり、以後 k の全域にわたって単調に減少し、 $k=1-\bar{k}_{02}$ で最小となる。ただし、極小値付近の s_{E2} の変化が比較的緩慢であることを考慮すれば、実用上はそれぞれ単調に増減するとしても大きな誤りはないであろう。なお、支間傾斜 α_F が負の場合にも同様の傾向が認められた。

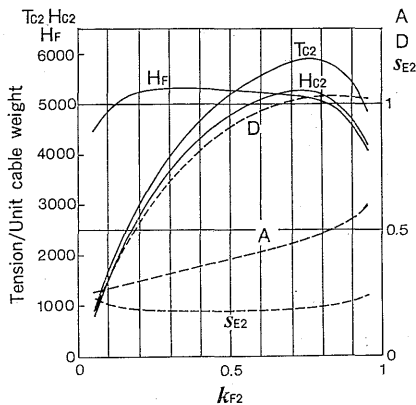


図-6. 集材索の方向による T_{C2} 等の変化
Numerical values of T_{C2} (guide-cable tension), H_F (horizontal component of the skidding-cable tension), S_{E2} (sag ratio at the connecting point E_2), D ($=\sin \delta_{C2}/\sin \delta_{A2}$), A ($=\tan \alpha_{C2}$: inclination from the point E_2 to C_2) to be varied with the direction of the skidding cable k_{F2} ($k_{F1}=0.5$, $k=0.5$) by precise computation. Span conditions and load conditions: the same as those in Fig. 5.

3) S_{E02} の変化による諸量の傾向

文献(8)で報告したのと同様に、索張力 T_i , T_{B1} , T_{C1} は、いずれも無負荷状態の結合点垂下係数 S_{E02} にほぼ反比例し、 f_D/l , S_{E01} , S_{E1} は、 S_{E02} にほぼ正比例するという関係が認められる。とくに集材索の方向を $0.15 < k_{F1} < 0.85$ に限定すれば、この関係は実用上明確に成り立つものと考えてよいであろう。前述したように、 k_{F1} の上記範囲内では、 T_i , f_D/l , S_{E1} がほぼ一定値をとることをあわせれば、 S_{E02} (または S_{E01}) をこの架線の緊張度を示すパラメータとしたことは、適切であったといえてよいであろう。

4) 案内索張力を極大とさせる集材索の方向

T_{B1} は、それぞれ $k_{F1}=0 \sim 0.5$ の範囲に極大値をもち、結合点 E_1 がそれぞれ支点 C_1 に近づくに従って急速に減少する。 T_{C1} も反対の関係にあって同様の傾向をもつものである。図-6は T_{C2} について、 $k_{F1}=0.5$ に固定した場合 ($k=0.5$ とする) の k_{F2} に対する変化の状態を、関係する要素とともに示したものである。

まず、 S_{E2} についていえば、先述したように $k_{F1}=0.15 \sim 0.85$ の範囲ではほぼ一定値をとるものであるが、結合点すなわち集材索方向が案内索支点に接近する場合には、 $\bar{k}_{01} \cdot l$ の急減と E_2F_2 方向の傾斜角の増大によって一般に大きくなる。この場合(1)式の右辺において、大きく変化するものは S_{E2} だけであるから、 H_F は

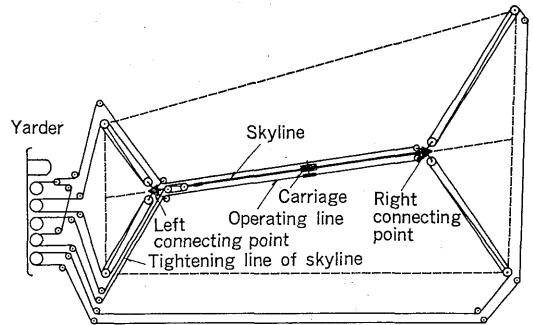


図-7. H型架線の現実モデル
Actual model of the H-type cable crane

案内索支点付近において図のように減少するのが普通である。 $\sin \delta_{C2}/\sin \delta_{A2}$ (図のDで示す) には $k_{F2}=0.5 \sim 1.0$ の範囲に極大値があるから、 H_{C2} も同様にその近傍 $k_{F2}=(k_{F2})_1$ で極大となる。 $\tan \alpha_{C2}$ (図のAで示す) は k_{F2} について単調に増加するものであり、 T_{C2} は理論上、 $k_{F2}=(k_{F2})_1 \sim 1.0$ の間に極大値をとるものである。支間条件、荷重条件によって T_{C2} を極大とする k_{F2} の値は変化するが、とくに a_2 が相対的に短小に、また ρ_2 の値が小さくなるに従って、1.0 にきわめて近い範囲に移る傾向のあることが認められた。

III. 軌索の最大張力を与えた場合の算定法

1. H型架線の現実的なモデル

本章では、集材索が別個の軌索と作業索とより成るという現実のH型架線の一つのモデルを対象とする。図-7は、これを平面的な模式図で示したものであり、1本のエンドレス索が自動ストップ付きの搬器を操作し、その引戻し側が搬器を通過する。左右の案内索はそれぞれ2組のヒールブロックを介して組み上げるが、元柱側案内索には、それらと平行してエンドレス作業索、軌索張り上げ用のヒールライン(引締め索)を配置する。この場合、搬器引寄せ側の作業索ならびに軌索引締め索を図の支点 B_1 、引戻し側作業索を支点 C_1 方向に引出すこととし、引出し口は、案内索支点と同一の点にあるものとする。なお、案内索を構成するヒールラインの張力は、それぞれのヒールブロックを構成する滑車の枚数により異なるものであるが、ここでは第II章と同じように、それらが一体となった1本の索より成るものとして扱うことにする。

ここでは、支間条件、軌索の方向 k_{F1} 、結合点の位置係数 $\bar{k}_{01}$ および結合点の荷重 Q_i 、空搬器重量 P_0 、軌索・作業索および案内索の単位長重量 p , p_0 , p_i 、引寄せ側の作業索張力 T_{10} 、軌索引締め索の組滑車による張

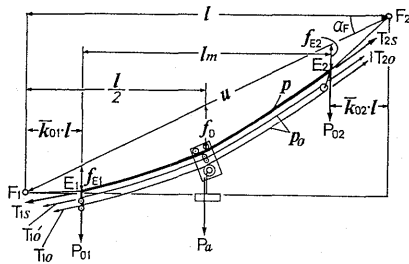


図-8. 集材索が軌索・作業索から成るとき
の半等価架線
Semi-equivalent cable of the skidding cable
composed of three lines

力比 r_H などが与えられているとき、所定の搬器荷重 P_a を半等価架線の支間中央に加えた場合に、a. P_a に対する軌索の最大張力が、その使用鋼索の安全上許される張力 T_a と等しくなる場合の荷重点垂下量の最大値、案内索の最大張力等を求める方法、および、b. 軌索の最大張力が T_a と等しく、荷重点垂下量の最大値が所定の値 f_a と一致する場合の許容搬器荷重 P_a 、その他諸量を求める方法を問題とし、精密算定法と実用算定法とを与える。

この場合、(5) 式の P_{01} に相等するものが、次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} P_{01} &= L_{B1} p_1' (1 - k_{cB1}) + L_{C1} p_1' (1 - k_{cC1}) \\ &\quad + L_{B0} p_0 (1 - k_{cB0}) + L_{C0} p_0 (1 - k_{cC0}) \\ &\quad + L_{BH} p_H (1 - k_{cBH}) + Q_1 \\ \text{実用算定法では、} \\ P_{01} &\doteq \{ (L_{B1} + L_{C1}) (p_1' + p_0) \\ &\quad + L_{BH} p_H \} / 2 + Q_1 \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

ただし、 L_{B0} , L_{BH} : 案内索 $E_1 B_1$ に沿う作業索長、軌索引締め索長、 L_{C0} : 案内索 $E_1 C_1$ に沿う作業索長、 k_{cB0} , k_{cC0} , k_{cBH} : 上記各索線の点 E_1 からの重心位置係数、 p_H : 軌索引締め索の単位長重量

Ⅱ章に示した半等価架線は、この場合にも成り立つものであり、また軌索・案内索の張力、荷重点垂下量はいずれも、搬器荷重が半等価架線の支間中央にあるとき、最大値にきわめて近い値をとると考えてよい。ここでは、荷重位置係数を $k=0.5$ の場合に固定して考えるものとする。

2. 精密算定法

図-8 は、集材索が軌索、作業索より成る場合の半等価架線を示したものである。以下において使う諸量の記号は、この図に示したとおりである。

ここで、集材索の軌索・作業索張力の相互関係は、以下の諸式から定まる。

$$H_1 + H_{10} + H_{10}' = H_2 + 2 H_{20} \quad (21)$$

ただし、 H は水平分力を表わし、添字 1, 2 は、 $E_1 D$ 間、 DE_2 間のものを、添字 0 は作業索のものを、' は $E_1 D$ 間の引戻し側作業索のものを、それぞれ意味する。

$$T_{20} = T_{10} + h_E p_0 \quad (22)$$

ただし、 h_E : $E_1 E_2$ 間の高低差

走行動作（搬器の軌索への係留は解かれ、荷上げドラムは制動状態にある）の場合には、

$$T_{2S} = T_{1S} + h_E p \quad (23)$$

荷上げ動作（搬器は軌索に係留され、荷上げドラムの制動は解かれる）の場合には、

$$T_{10}' = T_{10} + (P_a - P_c) / i \quad (24)$$

ただし、 i : 荷上げドラムの減速比

これらの関係は、Y型架線で検討されたものと同じである(11)。

元柱側案内索張力の水平分力 H_{B1} , H_{C1} は、

$$\left. \begin{aligned} H_{B1} &= [H_{B1}] - H_{B0} - H_{BH} \\ H_{C1} &= [H_{C1}] - H_{C0} \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

ただし、 $[H_{B1}]$, $[H_{C1}]$: (6) 式で与えられるもの、 H_{B0} , H_{C0} : $E_1 B_1$ 間、 $E_1 C_1$ 間のエンドレス作業索張力の水平分力、 H_{BH} : $E_1 B_1$ 間の軌索引締め索張力の水平分力より定まる。

a. 所与の (T_a , P_a) に対する諸量の計算

P_a を半等価架線の支間中央に加えたとき、軌索の最大張力が T_a となる場合の半等価架線の張力の水平分力は、力のつり合いより、次式で与えられる。

$$H_F = \cos \alpha_F \{ \sqrt{T_E^2 - M_F^2} \cos^2 \alpha_F - M_F \sin \alpha_F \} \quad (26)$$

ただし、 $T_{2S} = T_a$ のとき、

$$T_E = T_a + 2 T_{20}$$

$$\begin{aligned} M_F &= M_{F1} = \{ \bar{k}_{01} + k_{c1} (0.5 - \bar{k}_{01}) \} L_1 p \\ &\quad + \{ \bar{k}_{01} + k_{c10} (0.5 - \bar{k}_{01}) \} L_{10} p_0 \\ &\quad + \{ \bar{k}_{01} + k_{c10}' (0.5 - \bar{k}_{01}) \} L_{10}' p_0 \\ &\quad + \{ 0.5 + k_{c2} (0.5 - \bar{k}_{02}) \} L_2 p \\ &\quad + 2 \{ 0.5 + k_{c20} (0.5 - \bar{k}_{02}) \} L_{20} p_0 \\ &\quad + P / 2 + \bar{k}_{01} P_{01} - \bar{k}_{02} P_{02} \end{aligned} \quad (27)$$

ただし、 $(k_{c1}, k_{c10}, k_{c10}')$, (k_{c2}, k_{c20}) : $E_1 D$, DE_2 間の軌索、作業索の各線分のそれぞれ点 E_1 , D からの重心位置係数

$T_{1S} = T_a$ のとき、

$$T_E = T_a + T_{10} + T_{10}'$$

$$\begin{aligned} M_F &= M_{F2} = - \{ (L_1 + L_2) p \\ &\quad + (L_{10} + L_{10}' + 2 L_{20}) p_0 + P_a - M_{F1} \} \end{aligned} \quad (27)'$$

荷重点垂下量は

$$\begin{aligned} f_D &= l \{ M_{F1} + P_{02} - (1 - 2 \bar{k}_{02}) (k_{c2} L_2 p \\ &\quad + 2 k_{c20} L_{20} p_0 + P_{02}) \} / 2 H_F \end{aligned}$$

$$=l\{M_{F2}+P_{01}-(1-2\bar{k}_{01})\{(1-k_{c1})L_1p+(1-k_{c10})L_{10}p_0+(1-k_{c10}')L_{10}'p_0+P_{01}\}/2H_F\} \quad (28)$$

結合点垂下量は

$$\left. \begin{aligned} f_{E1} &= l\bar{k}_{01}(M_{F2}+P_{01})/H_F \\ f_{E2} &= l\bar{k}_{02}(M_{F1}+P_{02})/H_F \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

で与えられる。

$T_{2S}=T_a$ と考えられるとき、搬器が走行動作にある場合について計算手順の概要を示せば、次のとおりである。

〔計算手順 2〕

① 近似値の設定: $L_1 \doteq L_{10} \doteq L_{10}' \doteq (0.5 - \bar{k}_{01})u$, $L_2 \doteq L_{20} \doteq (0.5 - \bar{k}_{02})u$, $L_{B1} \doteq u_{B1}$ の近似値, $L_{C1} \doteq u_{C1}$ の近似値, $L_{B0} \doteq L_{BH} \doteq u_{B1}$ の近似値, $L_{C0} \doteq u_{C1}$ の近似値, これら各索線分の重心位置係数 $\doteq 1/2$, $T_E \doteq T_a + 2 \times (T_{10} + P_a \sin \alpha_F + h_E p_0)$, u_{B1} , u_{C1} , f_{E1} 等の近似値は $s_{E1} \doteq 0.2$ 程度と仮定して計算すればよい。

② (20) 式より P_{01} , (5) 式より P_{02} を算出し, (27) 式より M_{F1} を算出し, (26) 式, (27)' 式, (28) 式, (29) 式より f_D , f_{E1} を算出する。

③ 集材索を構成する各索線分における力のつり合い条件から, 張力の水平分力 H_2 , H_1 , H_{10} , 索長 L_2 , L_1 , L_{10} , 重心位置係数 k_{c2} , k_{c1} , k_{c10} を定める。

④ 試算値により, (21) 式, (22) 式を満足するような (T_{10}', T_{20}) , したがって (H_{10}', H_{20}) , (L_{10}', L_{20}) , (k_{c10}', k_{c20}) を定める。

⑤ (21) 式から求まる H_F に (6) および (25) 式を適用し, 案内索の諸量 L_{B1} , L_{C1} , k_{cB1} , k_{cC1} のほか, L_{B0} , L_{C0} , L_{BH} , k_{cB0} , k_{cC0} , k_{cBH} 等を算定する。また, 点 E_2 における軌索, 作業索の鉛直分力 V_2 , V_{20} を求め, 次式より新たな

$$T_E = \sqrt{H_F^2 + (V_2 + 2V_{20})^2} \quad (30)$$

を算出する。

⑥ 精度判定: 各索線分の索長, 重心位置係数, T_E , P_{01} , f_{E1} 等について, 近似値と算定値との差が所定の微小量より大きければ, 算定値を新たな近似値として設定し, ステップ②からの計算を反復する。

b. 所定の (T_a, f_a) に対する許容搬器荷重 P_a 等の計算

次の計算手順により, 必要とする諸量を求めることができる。

〔計算手順 3〕

① 近似値の設定: 〔計算手順 2〕の①において, P_a の値に適当な近似値を用いる。

② 〔計算手順 2〕の②～⑥により, f_D を求める。

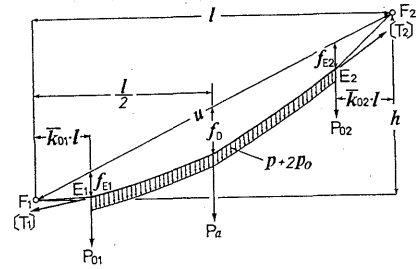


図-9. 仮想索モデル
Model of hypothetical cable applied to the semi-equivalent cable

③ 精度判定: f_D と f_a との差が所定の微小量よりも大きければ, その差の大きさおよび正負に応じて P_a の設定値を適宜減少または増加して, ステップ②にもどる。

3. 実用算定法

図-9 に示すように, 集材索を単位長重量 $(p+2p_0)$ なる単一の索 (仮想索) とみなして結合点におけるその張力 $[T_i]$ を算定すれば, 近似的に次式が成り立つ。

$$\left. \begin{aligned} [T_2] &\doteq T_{2S} + 2T_{20} \\ [T_1] &\doteq T_{1S} + T_{10} + T_{10}' \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

作業索張力においては, 前項の (22), (24) 式のほか, 走行動作のとき, 次式が成り立つ。

$$T_{10}' \doteq T_{10} + P_a \sin \alpha_F \quad (32)$$

元柱側案内索は, 作業索, 軌索引締め索など一体となった仮想索とみなし, (6) 式により与えられる水平張力に (18) 式を適用し, その索長を求めるが, 諸索の支点 B_1 , C_1 における張力の間には, 次の近似関係が成り立つ。

$$\left. \begin{aligned} T_{B1} &\doteq [T_{B1}] - T_{B0} - T_{BH} \\ T_{C1} &\doteq [T_{C1}] - T_{C0} \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

ただし, $[T_{B1}]$, $[T_{C1}]$: 仮想索の支点張力, $T_{B0} = T_{10} + h_{B1}'$: 引寄せ側作業索の支点張力, $T_{BH} = T_{1S}/r_H + h_{B1}'$: 軌索引締め索の支点張力, $T_{C0} = T_{10}' + h_{C1}'$: 引戻し側作業索の支点張力, h_{B1}' , h_{C1}' : それぞれ支点 B_1 , C_1 と左方結合点との高低差

a. 所与の (T_a, P_a) に対する諸量の計算

(26) 式の M_F に, 放物線索理論に基づく以下の 2 式を適用すれば, H_F を求めることができる。 $T_{2S} = T_a$ のとき,

$$M_F = M_{F1P} = \{(1 - \bar{k}_{02})^2 - \bar{k}_{01}^2\} u(p + 2p_0)/2 + P_a/2 + \bar{k}_{01}P_{01} - \bar{k}_{02}P_{02} \quad (34)$$

$T_{1S} = T_a$ のとき

$$M_F = M_{F2P} = -\{[(1 - \bar{k}_{01})^2 - \bar{k}_{02}^2] u(p + 2p_0)/2 + P_a/2 - \bar{k}_{01}P_{01} + \bar{k}_{02}P_{02}\}$$

$$= -\{(1-\bar{k}_{01}-\bar{k}_{02})u(p+2p_0)+P_a -M_{F1P}\} \quad (34)'$$

集材索の結合点における索傾斜は (13) 式より、

$$\left. \begin{aligned} \tan \theta_2 &= \tan \alpha_F + \left[\frac{\{(1-\bar{k}_{02})^2 - \bar{k}_{01}\}u(p+2p_0)}{P_a + 2(\bar{k}_{01}P_{01} - \bar{k}_{02}P_{02})} \right] / 2H_F \\ \tan \theta_1 &= \tan \alpha_F - \left[\frac{\{(1-\bar{k}_{01})^2 - \bar{k}_{02}\}u(p+2p_0)}{P_a - 2(\bar{k}_{01}P_{01} - \bar{k}_{02}P_{02})} \right] / 2H_F \end{aligned} \right\} \quad (35)$$

また荷重点垂下量、結合点垂下量はそれぞれ、(14)、(15) 式より

$$f_D = l\{(0.5 - \bar{k}_{01}^2 - \bar{k}_{02}^2)u(p+2p_0) + P_a + 2(\bar{k}_{01}P_{01} + \bar{k}_{02}P_{02})\} / 4H_F \quad (36)$$

$$\left. \begin{aligned} f_{E2} &= l\bar{k}_{02} \left[\{(1-\bar{k}_{02})^2 - \bar{k}_{01}^2\}u(p+2p_0) + P_a + 2\{\bar{k}_{01}P_{01} + (1-\bar{k}_{02})P_{02}\} \right] / 2H_F \\ f_{E1} &= l\bar{k}_{01} \left[\{(1-\bar{k}_{01})^2 - \bar{k}_{02}^2\}u(p+2p_0) + P_a + 2\{(1-\bar{k}_{01})P_{01} + \bar{k}_{02}P_{02}\} \right] / 2H_F \end{aligned} \right\} \quad (37)$$

で与えられる。

〔計算手順 4〕

- ① f_{Ei} の近似値を設定する。
- ② P_{0i} を (20)、(5) 式より、 T_{10}' を (32) または (24) 式より算出し、また $T_{2S}=T_a$ のときは T_{20} を (22) 式を適用して求める。
- ③ M_F を (34) または (34)' 式より求め、(26) 式より H_F を求めれば、(36) 式より f_D が、また (37) 式より、より精密な f_{Ei} の値が求まる。また (6) 式より H_{Bi} 、 H_{Ci} を算出し、案内索の索長などを求める。
- ④ f_{Ei} の近似値と算定値とによって精度判定を行い、必要であればステップ②にもどる。

b. 所与の (T_a, f_a) に対する許容搬器荷重 P_a 等の計算

本章 2 節 b. に述べた方法に準じた計算も可能であるが、ここでは、以下のようにして計算の簡易化をはかる。

集材索の結合点の張力は

$$[T_i] = H_F \sqrt{1 + \tan^2 \theta_i} \quad (38)$$

ただし、 $\tan \theta_i$: (35) 式で与えられるもの

この式と (36) 式とより H_F を消去し、適宜近似計算を適用し、

$$\eta = f_a / u \quad (39)$$

とおくことにより、次式を得る。

$T_{2S}=T_a$ のとき

$$\begin{aligned} P_a &\doteq [4\eta T_X - \{1 - 2\bar{k}_{01}^2 - 2\bar{k}_{02}^2 + 4\eta(1 - \bar{k}_{01} - \bar{k}_{02})\sin \alpha_F + 8\eta^2(1 - 2\bar{k}_{01})\cos^2 \alpha_F\}u(p+2p_0) / \\ &\quad 2 - 2(1 + 2\eta \sin \alpha_F + 2\eta^2 \cos^2 \alpha_F)\bar{k}_{01}P_{01} \\ &\quad - 2(1 - 2\eta \sin \alpha_F + 2\eta^2 \cos^2 \alpha_F)\bar{k}_{02}P_{02}] / \\ &\quad (1 + 2\eta \sin \alpha_F + 2\eta^2 \cos^2 \alpha_F - 2C) \end{aligned} \quad (40)$$

$T_{1S}=T_a$ のとき

$$\begin{aligned} P_a &\doteq [4\eta T_X - \{1 - 2\bar{k}_{01}^2 - 2\bar{k}_{02}^2 - 4\eta(1 - 2\bar{k}_{01} - \bar{k}_{02})\sin \alpha_F + 8\eta^2(1 - 2\bar{k}_{01})\cos^2 \alpha_F\}u(p+2p_0) / \\ &\quad 2 - 2(1 + 2\eta \sin \alpha_F + 2\eta^2 \cos^2 \alpha_F)\bar{k}_{01}P_{01} \\ &\quad - 2(1 - 2\eta \sin \alpha_F + 2\eta^2 \cos^2 \alpha_F)\bar{k}_{02}P_{02}] / \\ &\quad (1 - 2\eta \sin \alpha_F + 2\eta^2 \cos^2 \alpha_F - C) \end{aligned} \quad (40)'$$

ただし、 T_X および C は、 T_{2S} 、 T_{1S} のいずれかが T_a となるか、および搬器が走行、荷上げのいずれの動作にあるかにより、下記の算定式より定める。

$$\left. \begin{aligned} T_{2S}=T_a \text{ のとき} &\left\{ \begin{array}{l} \text{走行} \quad T_X = T_a + 2(T_{10} + h_E p_0) \\ \text{荷上げ} \quad T_X = T_a + 2(T_{10} + h_E p_0 - P_C / i) \end{array} \right\} \\ T_{1S}=T_a \text{ のとき} &\left\{ \begin{array}{l} \text{走行} \quad T_X = T_a + 2T_{10} \\ \text{荷上げ} \quad T_X = T_a + 2T_{10} - P_C / i \\ \text{走行} \quad C = 4\eta \sin \alpha_F \\ \text{荷上げ} \quad C = 4\eta / i \end{array} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (41)$$

〔計算手順 5〕

- ① f_{Ei} の近似値を設定する。
- ② P_{0i} を (20)、(5) 式より算出し、(41)、(42) 式より T_X 、 C を求め、(40) または (40)' 式より P_a を求め、(36) 式を逆算して H_F を求め、(37) 式より f_{Ei} を求める。かくして h_E 、あるいは H_{Bi} 、 H_{Ci} その他の諸量を求める。
- ③ 〔計算手順 4〕と同様に、 f_{Ei} について精度判定を行う。

4. 計算結果の検討

1) 計算 a による諸量の傾向と精度

計算 a を適用して、両案内索長が与えられた長さになるような両結合点の位置係数を試算的に定めることにより、所定の搬器荷重を半等価架線の支間中央に加えたときの軌索の最大張力が所定の値となり、しかも案内索長が定索長に保たれている場合、両結合点の位置ならびに垂下量、案内索および作業索の張力、荷重点垂下量などの諸量を求めることができる。

i) 図-10 は k_{F1} によって変化する案内索張力の精密算定値の一例 (ただし搬器は走行動作にある) を示したものである。支間条件ならびに案内索長は第 II 章の計算例と同一であり、その他の諸条件は図中に示したとおりである。ここで軌索の最大張力 $(T_{2S})_{\max}$ は JIS 1 号 A 種鋼索で安全率を 3.0 としたときの許容張力に相当するものとし、搬器荷重 P は 4 輪で輪圧張力比を 1/30 とするものに相当する。なお引寄せ側作業索張力 T_{10} には、定張力として 3 号 A 種普通燃り鋼索で安全率を 10.0 としたものを与えている。実線、破線、点線はそれぞれ左方結合点 E_1 の方向を、 $k_{F1}=0.2, 0.5, 0.8$ に固定した場合の値を示す。

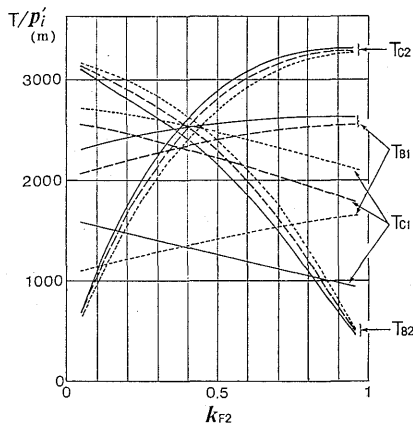


図-10. 軌索の方向を変えたときの案内索張力の変化状況

Tension of the guide cables to be varied with the direction of the skidding cable k_{F2} (solid lines: $k_{F1}=0.2$, dashed lines: 0.5, dotted lines: 0.8)

Span conditions: the same as those in Fig.5; load conditions: $P=726 \times p$, $Q_1=90 \times p$, $Q_2=70 \times p$, $(T_{2S})_{\max}=5447 \times p$, $T_{10}=1510 \times p$, $p_1'/p=p_2'/p=2.25$, $p_0/p=p_H/p=0.25$, $r_H=9$; during running condition of the carriage

図からまず、案内索張力はいずれも、その存在する側の結合点位置係数 k_{Fi} によって大幅に変化するが、反対側結合点の方向による変化は小さいものであることがわかる。とくに図の場合でいえば、結合点 E_2 が案内索支点に接近するときすなわち $k_{F2}=0.05$ または 0.95 における案内索張力 T_{B2} , T_{C2} は、ほとんど変化しないものといってよいであろう。主として $\sin \delta_{B,Ci}/\sin \delta_{Ai}$ の変化量によるものであるが、この架線の使用に当たって留意すべき点であろう。

次に上記諸条件のもとでは、図のように $k_{F2}=0.05$ において T_{B2} ならびに T_{C1} が、 $k_{F2}=0.95$ において T_{C2} および T_{B1} が、それぞれ最大値をもっている。案内索張力を最大とする k_{Fi} の値は、支間条件が与えられた場合、 ρ_i すなわち案内索長 L_{Gi} の影響を大きく受けるものであることを第II章3節4)項で述べたが、広範な計算から、案内索長の変化にかかわらず、集材索方向が案内索支点方向にきわめて接近する場合の当該案内索張力 ($k_{F1}=0.05$ または 0.95 における T_{B1} または T_{C1} , および $k_{F2}=0.05$ または 0.95 における T_{B2} または T_{C2}) は、ほとんど変化しないことがわかった。 ρ_i がある値 $(\rho_i)_1$ を越えない (L_{Gi} が相当して定まるある値より大きい) 範囲にあれば、案内索張力の最大値は上記の k_{Fi} において生じるから、案内索長に関係なくそれらの最大値はほぼ一定値をとる。 ρ_i が $(\rho_i)_1$ を越える範囲では、

案内索張力の最大値を与える集材索の方向は、上記 k_{Fi} の位置から、 ρ_i の増加とともに最大張力そのものの値を増加させながら、しだいに支間 B_iC_i の中央部に向かって移行するが、この場合でも、上記 k_{Fi} における案内索張力がほとんど変化しないばかりでなく、最大張力を含めた各 k_{Fi} における値の変化もそれほど大きなものではない。これに対し、結合点位置係数 $\bar{k}_{0i}$ の値は ρ_i の値に応じて大きく変化する (計算例の条件の場合、一例として $k_{F1}=(0.5, 0.5)$ における $\bar{k}_{02}$ は 0.227 であるが、仮に $\rho_2=0.70$ として L_{G2} を 10% 増したとき、 $\bar{k}_{02}=0.280$ と 23% 増しになる)。いうまでもなく、 $\bar{k}_{0i}$ が過大となれば、4支点 B_1, B_2, C_2, C_1 で囲まれる四辺形の区域内で、集材を困難とさせる面積が増加するから望ましくない。このことは、設計上案内索の許容張力に関連する問題ともなるが、Y型架線(II)と共通して有する、この架線の特記すべき性質といえるものである。

ii) 計算aによる以上の諸計算における実用算定値の精度は、きわめて良好であった。荷上げ動作における場合には、すべての k_{Fi} において諸量の誤差が、多くの場合 0.5% 程度以下であった。走行動作においても同様であるが、 T_{10}' したがって T_{C0} の誤差が 2% に達することがあった。しかし他の量に与える影響は軽微であるから、実用上まったく問題ないといつてよいであろう。以上の精度に対応する計算の反復回数は、 k_{Fi} が 0.05 または 0.95 のときに3回になることがあったが、多くは2回以内であった。

2) 計算bによる諸量の精度

両結合点の平面図上での位置 (k_{Fi} , $\bar{k}_{0i}$) を与え、計算bを適用すれば、半等価架線の支間中央に所定の荷重点垂下量を与えたときの軌索の最大張力が所定の値となる場合の、許容搬器荷重、案内索長、諸索の張力などを求めることができる。ここでは1)項と同じ諸条件における計算例から、[計算手順5]による実用算定値の精度について述べる。

諸量の誤差率は、 k_{Fi} , $\bar{k}_{0i}$, α_F などの値に応じて複雑に変化するが、荷重点たわみ比の範囲を $\eta=0.055 \sim 0.12$ 程度に限定した場合、それらはいずれも絶対値でおおむね $2 \sim 3\%$ の範囲内にあることがわかった。 $\eta=0.05$ では誤差が急増して数%に達することがあり、使用に耐えない(9)。この計算の精度は、(40), (40)'式の誘導の過程における近似の程度によって定まるものであるが、いたずらに数式を煩雑化すれば実用性を損うものとなる。すなわち、上記の場合の η をその実用的範囲と考えれば、地形条件などから規制された η に対応する許容搬器荷重などを、容易に、かつ比較的精度よく推定

することができるから、そのままでもさしつかえないと考えられる。

IV. あ と が き

H型架線は、Y型架線の案内索を含む部分を左右に対向させて、より効率的な集材を行おうとするものであり、基本的にはY型架線の解法に準じて明快な算定法を導くことができた。すなわち第II章では、この架線の基本を表わす式として(1)、(1)'式を誘導し、負荷状態の変化による諸量の変化の傾向から、この架線の力学的諸性質を明らかにし、第III章ではその結果を基にして、半等価架線をこの架線の最も現実的と考えられる索張り方式に適用した場合について、a、bの二つの計算に対して精密算定法と実用算定法とを与えることができた。今後設計上の諸問題を検討するために必要な数値計算は、これらを基本において行うことができると考える。ただしこの架線は4本の案内索をもつ立体的架線であり、複雑に関係し合う諸要素を多く含んでいるから、実用算定法といっても、本質的に煩雑な部分を含まざるをえないものとなる。電算機の普及しつつある現在、高精度の計算も比較的容易に行うことができるが、現場向きにはより簡素化された算定法を別途考える必要があるかもしれない。

この研究において数値計算は、筑波大学学術情報センターのFACOM M-200によって行った。

引用文献

- (1) 堀 高夫: 2組のエンドレス・タイラー式架線よりなるH型架線の静力学的問題. 日林誌 58: 123~131, 1976
- (2) ———・加藤隆雄: H型架線におけるエンドレス索直列型と並列型との比較. 26 回日林中支講: 237~241, 1978
- (3) 丸山正和編: 架空索の理論とその応用. 195 pp, 地球社, 東京, 1974
- (4) 沼田邦彦: H型架線の平衡状態についての研究 (I) 平衡状態における条件式と変数の関係. 日林誌 55: 368~378, 1973
- (5) ———: 同上 (II) 限界張力とそれを定める諸要因の関係. 日林誌 56: 386~392, 1974
- (6) 林業機械化協会編: 図説集材機索張法. 212 pp, 林業機械化協会, 東京, 1976
- (7) 鈴木正之: Y型架線における静力学的問題の解法 (III) Y型架線設計上の諸問題. 日林誌 59: 6~16, 1977
- (8) ———: H型 (WY型) 架線の解法について. 92 回日林論: 499~502, 1981
- (9) ———: H型 (WY型) 架線の現場適用について. 34 回日林関東支論: 265~266, 1982
- (10) ———・堀 高夫: Y型架線における静力学的問題の解法 (I) 基本解法と設計諸量の一般的傾向. 日林誌 57: 148~159, 1975 a
- (11) ———・———: 同上 (II) 軌索の最大張力を与えた場合の諸量の算定法. 日林誌 57: 339~345, 1975 b
- (12) Suzuki, M.: Designing of the Y-type cable crane and its applications. IUFRRO Symp. Proc. on Mountain Logging: 80~87, 1979

(1983 年 12 月 28 日受理)