

H型架線・Y型架線の作業索張力に関する静力学的研究

鈴木 正之*

Statical study on Tension in Endless-formed Operating
Line of H-type and Y-type Cable Crane

Masayuki SUZUKI*

目 次

I 緒 言	1	4. 全体の計算手順	12
II 記号ならびに諸条件	5	IV 計算結果と考察	14
1. 記 号	5	1. 諸量の基本的な変化の傾向	15
2. 諸 条 件	5	2. 架線の規模による諸量の変化 の傾向	17
III 計算方法	6	3. 架線の勾配による諸量の変化 の傾向	18
1. 基本計算の算式	7	4. その他の条件による諸量の変化 の傾向	19
2. 結合点垂下係数 S_{Ei} を与えたとき の結合点の位値 \bar{k}_{0i} の決定, なら びに半等価架線および案内索に 関する諸量の算定	8	V 結 語	21
3. 結合点の位置 \bar{k}_{0i} が与えられたと きの軌索・作業索の原索垂下比, 張力等の算定	10	引用文献	21
		Summary	22

I 緒 言

この報告では、1本のエンドレス状の作業索が、自動クランプ付きの搬器を操作し、その引き戻し側の索が、軌索上の搬器により支持されながら搬器を通過する形式のH型架線⁶⁾(図-1参照)とY型架線⁵⁾とを検討の対象とする。これらの架線では、軌索(図-1で $\widehat{E_1E_2}$)の方向を、それ

*筑波大学農林工学系

* Institute of Agricultural and Forest Engineering, University of Tsukuba, Tsukuba-shi, Ibaraki 305

それ定索長の案内索（同図 $B_1E_1C_1$ および $B_2E_2C_2$ ）によって変えたとき、実搬器が加わる場合の軌索の最大張力が、一定の許容値 T_a となるように軌索の索張りを調整するが、同時に作業索に対しても、その一部を引き込むなどして適切な緊張度（適正索張り）を与えることにより、その張力を適正な範囲に保ち、搬器の走行を円滑ならしめる必要がある。この種のいわゆる定索長形式の作業索については、既にその張力に関して理論的研究がなされ¹⁾、またそれをここで対象とするような支持型搬器に適用した場合について、検討が加えられている²⁾。一般にエンドレス状作業索の適正索張りに関しては、その原索垂下比 s_0 と軌索の原索垂下比 s との比 $r_s = s_0/s$ を一つの尺度として検討が行なわれるが、ここで対象とする架線では、搬器の走行により軌索の支点位置（図-1では E_1, E_2 、Y型架線では図-3(b)の結合点E）が変動し、上記の r_s 自体が荷重位置によって大きく変化する。

この報告の目的は、この意味で特殊性をもつH型、Y型架線の作業索の張力などについて、厳密な算出法（精密算定法）を与えるとともに、算定値の解析から、それらの適正索張りについて検

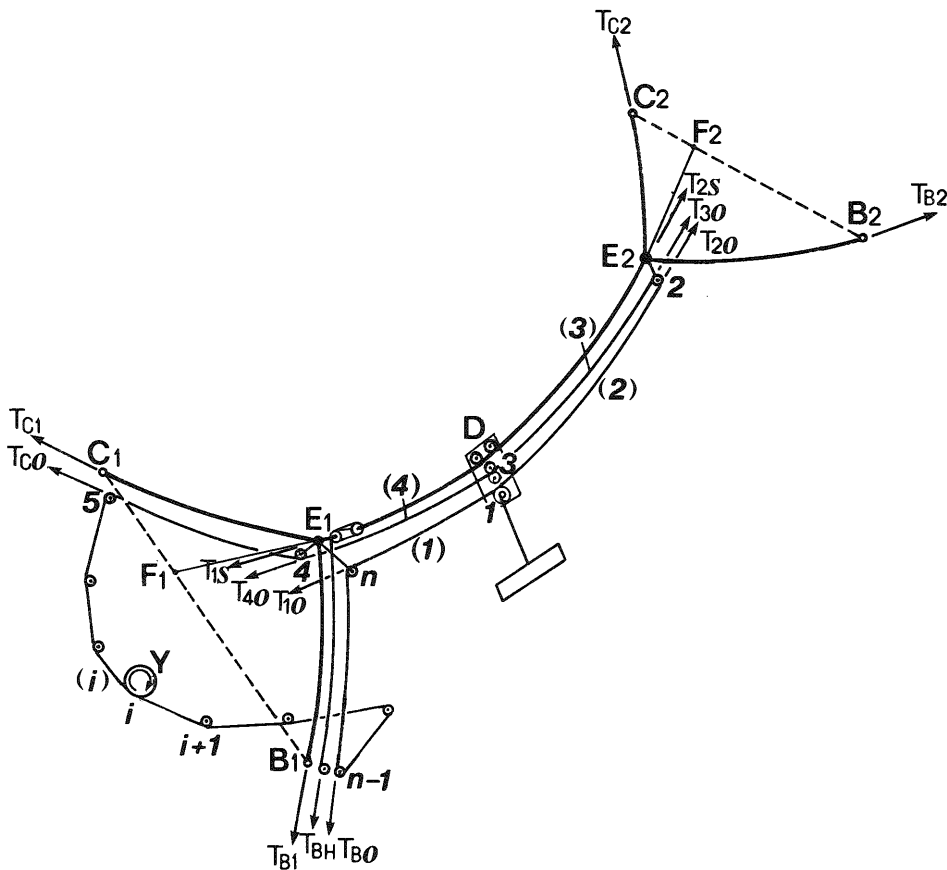


図-1 H型架線の作業索

The endless-shaped operating line in the H-type cable crane

討を加えることにある。精密算定法は、静力学的つり合い条件および軌索・作業索の定索長条件が満足されるように、張力ならびに荷重点垂下量などを算定するにあたって、これら不静定の索線分をすべて垂曲線として扱うものであるが、その計算はきわめて煩雑であり、また反復計算の始めに、初期値として適切な近似値を必要とする。近似値は、一般に索線分を放物線として扱う実用算定法によって求められるが、エンドレス状の索線を含む複雑な架線系では、実用算定法そのものもかなり煩雑なものとなる。ここでは、その一部に堀の近似解法¹⁾を利用し、著しく簡易化することができた。同法は、いくつかの近似関係により、荷重点垂下量と荷重けん引力を決定したのち、エンドレス状作業索の平均張力を求めるものであるが、詳細は直接同文献を参照くださるようお願いする。

図-2は、H型架線の基本的なモデルを示したものである。Y型架線は、この図で左側の元柱側結合点 E_1 から左方の案内索に相当するものが無いから、構造的にははるかに簡単になり、エンドレス状作業索の長さも短くなる。これらの架線は3次元的なものであり、またH型架線でいえば、 E_1E_2 間には実際には軌索と作業索とより成るが、この部分はその静力学的問題に関するかぎり、図-3(a)に示す2次元的架線と同等に考えることができる。これは全長が F_1F_2 間に架設された索で、 E_1E_2 間は元のH型架線と同一であり、 E_1F_1 、 E_2F_2 部分は自重のない索より成って、結合点 E_1 、 E_2 に P_{01} 、 P_{02} なる集中荷重（(14)、(15)式参照）が加わったものである。Y型架線についても同様の架線が、同図(b)に示すようにAF間に与えられる。これらをそれぞれの「半等価架線」と仮称する。負荷の変動による E_1F_1 間、 E_2F_2 間の距離（Y型架線ではEF間の距離）の変化が微

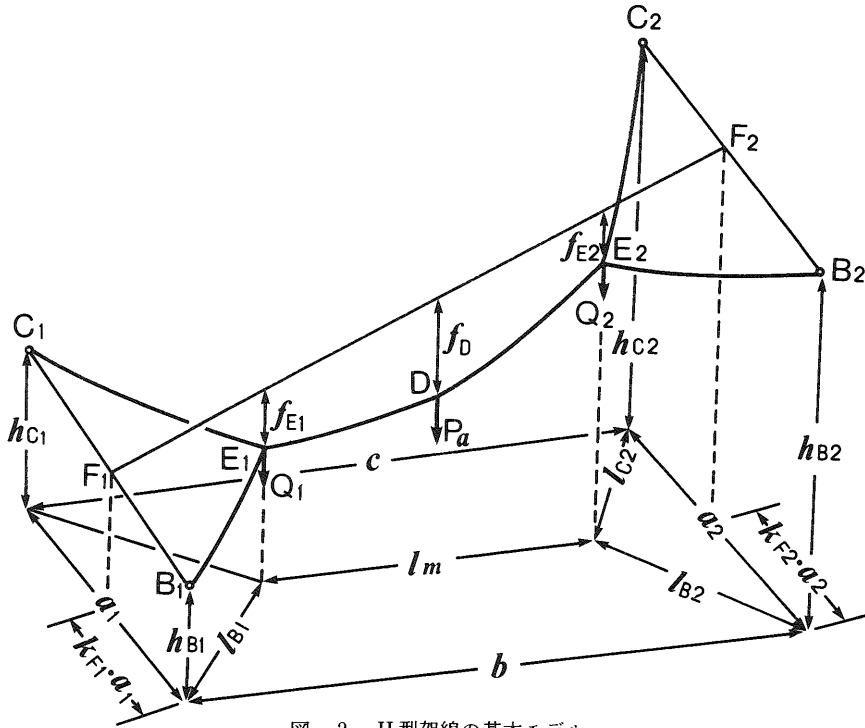


図-2 H型架線の基本モデル

Fundamental Model of the H-type cable crane

小であるとすれば、半等価架線を定索長とみなして、これに放物線索理論を適用する实用算定法の活用が考えられる。これまでの検討から、この实用算定法を有効に使用することができ、また H 型架線、Y 型架線の軌索・作業索を 1 体とした索（仮想索）の緊張度が、半等価架線の結合点垂下係数（H 型架線では s_{E1} , s_{E2} : それぞれ点 E_1 , E_2 の垂下量 f_{E1} , f_{E2} の、水平距離 $l_{F1} (= \bar{k}_{01} \cdot l)$, $l_{F2} (= \bar{k}_{02} \cdot l)$ に対する比、Y 型架線では同じく $s_E: f_E$ の $l_F (= \bar{k}_0 \cdot l)$ に対する比、図-3 参照) をパラメータとして、適切に表わしうることを確かめている^{4, 6)}。この報告でも半等価架線の理論を、算定のよりどころとしている。

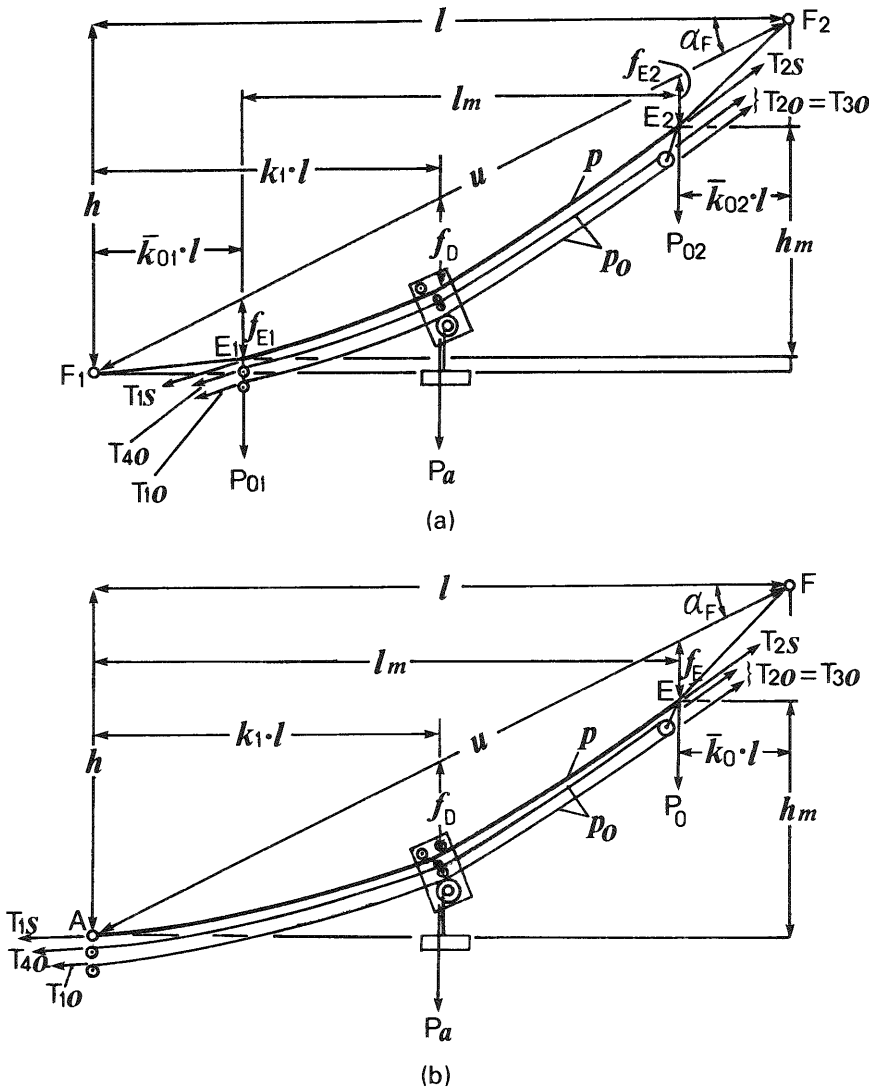


図-3 半等価架線

“Semi-equivalent cable” for the skidding cable

(a) H 型架線 H-type cable crane

(b) Y 型架線 Y-type cable crane

II 記号ならびに諸条件

1. 記号

図-1は、H型架線のエンドレス状作業索の張り回し状態を示す模式図である。この図において、軌索の支間すなわち両結合点 E_i （添え字 i は他の記号のものも含め1で元柱側のものを意味し、2で先柱側のものを意味するものとする）間の水平距離、傾斜角、高低差、斜距離をそれぞれ l_m , α_m , h_m , u_m とし、 $\widehat{E_1E_2}$ 上の点Dに設計荷重として許容搬器荷重 P_a がある。この荷重は搬器の車輪を介して軌索に加わり、作業索の作用により、静力学的なつり合いが保たれている。

作業索が、搬器点D、駆動ドラムY、および誘導滑車2, 3, \dots , n等によって分けられる区間を、図に示すように、(1), (2), \dots , (n)とし、それぞれの区間の水平距離、傾斜角、高低差、斜距離を、 $l_r=k_r l_m$, α_r , h_r , u_r ($r=1, 2, \dots, n$)等とする。また軌索の E_1D 間、 DE_2 間は、便宜的にそれぞれ区間(1), (2)とよぶことにする。駆動ドラムYは、区間(i)と区間(i+1)とを区分するもので、区間(3)～(i)を右張り回し区間、区間(i+1)～(n)を左張り回し区間とする。区間(6)からドラムを経て区間(n-1)に至る間を、外部張り回し区間とよぶ。

結合点 E_i は、荷重位置D（半等価架線 $\widehat{F_1F_2}$ 上における点 F_1 , F_2 からの位置係数をそれぞれ k_1 , $k_2(=1-k_1)$ とする）によって僅かであるが移動し、これによって、 l_m , α_m , h_m などが変動することが、この問題の解法を複雑なものとしている。

作業索の原索垂下比 s_0 は、作業索を搬器からはずして自由垂下させた状態での E_1E_2 間の垂下比である。また軌索・作業索の全長をそれぞれ L_s , L_0 、各区間のそれらの長さを L_{Sr} ($r=1, 2$), L_{0r} ($r=1 \sim n$)とし、さらにそれらにおいて、弾性伸長分を除いた原長（原索長）を、記号Lの上に一を付して表わすものとする。索長は同じ大きさの張力の作用している状態で比較しなければならないが、張力の作用しない状態での原長をとると都合である。ここで、軌索・作業索の単位張力当たり弾性伸長率を、それぞれ λ_s , λ_0 とする。一般に索の張力、その水平分力、鉛直分力、索長、索の重量、単位長重量、位置係数は、それぞれ文字T, H, V, L, W, p, kをもって表わし、また添え字は i ($=1, 2$)のほか、軌索・作業索・案内索・軌索引き締め索のものをS, O, G, Hで、区間 E_1E_2 間、重心位置に関するものをm, cで、 $\widehat{E_1E_2}$ 方向に対して左・右にあるものをC, Bを付して、それぞれ示す。その他の記号については、図-1ないし図-3に示すとおりである。

2. 諸条件

①案内索の4支点 B_i , C_i (Y型架線では2支点B, C)および作業索の外部張り回し区間の各支点における支点の位置に関する条件、②許容搬器荷重 P_a 、空搬器の重量 P_c 、結合点金具の重量 Q_i (Y型架線ではQ)、軌索・案内索・作業索・軌索引き締め索(Y型架線では軌索の支間AE内に引き締め用組滑車を組み込む場合のみが考察の対象となる)の単位長重量p, p_i' (Y型架線では p')、

p_0 , p_H および搬器内蔵の荷上げドラムの減速比 γ , 軌索引き締め索の組滑車による張力比 r_H など負荷に関係する条件, および③軌索・作業索の各区間における索長 L_{Sr} , L_{Or} , 案内索および軌索引き締め索の索長 L_G , L_H , ならびに任意の軌索方向 (k_{F1} , k_{F2} , Y 型架線の場合は k_F) において定まる結合点位置係数 (結合点 E_i の半等価架線上のそれぞれ左・右支点 F_i からの位置係数) \bar{k}_{0i} , 半等価架線 $\widehat{F_1F_2}$ の原索垂下比 s_F , 軌索・作業索の原長 \bar{L}_S , \bar{L}_O など索長に関する条件が与えられたとき, E_1E_2 間の任意荷重位置に対して, 静力学的条件および軌索・作業索の定索長条件を満足するような作業索の張力 T_{10} (点 E_1 における引き寄せ側の張力), T_{20} (点 E_2 における張力), および軌索・作業索の原索垂下比 s , s_0 などを求めることを問題とする。ここで上記の条件③は, H 型架線での報告⁶⁾, Y 型架線での報告⁵⁾ で与えた設計計算法によって得た算定値をそれぞれ使用するものとする。したがって, s および s_0 は, 任意の軌索方向 (k_{F1} , k_{F2}) の半等価架線の支間中央に負荷される P_a が, 軌索の許容張力 T_a と輪圧張力比とによって定まり, 同時に案内索の長さとして, 軌索方向によって変化する案内索の張力が, その使用綱索の安全上許される張力 T_a' と等しくなる場合の最大値を採用し, また結合点 E_1 (Y 型架線の場合は支点 A) における引き寄せ側作業索の張力 T_{10} を, 所与のものとした場合に対応して, 算出されたものになる。

図-1 において, 搬器点 D は, 軌索にかかる車輪, エンドレス索受け滑車 1, 引き戻し側作業索にかかる誘導滑車 3 などをふくめて 1 点に集中しているものとし, 点 E_2 と誘導滑車 2, 点 E_1 と誘導滑車 4 および n , また案内索支点 C_1 , B_1 とそれぞれ誘導滑車 5, $n-1$ は, いずれも同一の位置にあるものとする。また結合点 E_1 に近接して設けられる 1 組の軌索引き締め用滑車間の距離は, 小さいものとして扱い, それらの滑車, 引き締め索の重量は, 結合点金具重量 Q_1 に含ませる (Y 型架線の場合は支点 A によって支持される) ものとする。なお結合点を除き, 案内索の支点および作業索の誘導滑車は, 負荷の変動によって変位しないものとし, 搬器の滑車および誘導滑車の抵抗はないものとする。また索は完全に可撓性を満足するものとし, 弾性伸長による索の単位長重量の減少量は無視するものとする。

Ⅲ 計算方法

ここでは, H 型架線を例にした計算方法を述べる。Y 型架線についても基本的にまったく同じであり, 以下に述べる算定法において, 元柱側の結合点とその案内索に関する部分を除いたものと本質的に同じものとなるが, 計算ははるかに簡単になる。

計算の主要な部分は, 任意の軌索方向 (k_{F1} , k_{F2}) および任意の荷重位置 k_1 ($\bar{k}_{01} \leq k_1 \leq 1 - \bar{k}_{02}$) において, ①結合点垂下係数 s_{Ei} が与えられたとき, H 型架線の半等価架線において静力学的つり合い条件を適用し, 結合点 E_i の位置 \bar{k}_{0i} , 張力の水平成分 H_F , および案内索に関する諸量などを求める部分と, ② \bar{k}_{0i} が定まったとき, 軌索・作業索において, 静力学的つり合い条件ならびにそれらの定索長条件を適用し, 点 E_i におけるそれぞれの張力 T_{Si} , T_{Oi} および原索垂下比 s , s_0 などを定める部分とに分かれる。

以下では精密算定法の概要について述べるが、必要に応じ、その算定のために必要とする近似値を得るための、実用算定法についても触れるものとする。

1. 基本計算の算式

精密算定法は、以下に述べる「任意索線における端点の張力が既知のとき、索長、張力の水平分力、原長などを定める計算」を基本とするものである。

一般に左・右の支点をA、Bとする区間r (l_r および \overrightarrow{AB} 方向の傾斜角 $\alpha_r (\geq 0)$ を既知のものとする)の索線において、支点B、Aにおける張力 T_{Br} または T_{Ar} が与えられたとき、張力の水平分力 H_r は、それぞれ点AまたはBに関する索自重のモーメントのつり合いから、次式で与えられる³⁾。

$$\begin{aligned} H_r &= \cos\alpha_r \{ \sqrt{T_{Br}^2 - (M_r \cos\alpha_r)^2} - M_r \sin\alpha_r \} \\ &= \cos\alpha_r \{ \sqrt{T_{Ar}^2 - (M_r' \cos\alpha_r)^2} + M_r' \sin\alpha_r \} \end{aligned} \quad (1)$$

ただし、 $M_r = k_{cr} \cdot p_r \cdot L_r$

$$M_r' = (1 - k_{cr}) \cdot p_r \cdot L_r = p_r \cdot L_r - M_r$$

L_r : 索線の長さ

k_{cr} : 点Aからの重心位置係数

p_r : 索の単位長重量

また、 $Z_r = l_r \cdot p_r / 2H_r$ とおいたとき、 H_r 、 L_r 、 k_{cr} 、 T_{Br} 、 T_{Ar} 支点における張力の鉛直分力 V_{Br} 、 V_{Ar} 、平均張力 T_{mr} などは、よく知られているように垂曲線索理論による下記諸式で表わすことができる。

$$H_r = l_r \cdot p_r / 2Z_r \quad (2)$$

$$L_r = l_r \sqrt{\tan^2\alpha_r + (\sinh Z_r / Z_r)^2} \quad (3)$$

$$k_{cr} = \{ 1 + h_r (\coth Z_r - 1 / Z_r) / L_r \} / 2 \quad (4)$$

$$T_{Br}, T_{Ar} = (L_r \cdot \coth Z_r \pm h_r) p_r / 2 \quad (5)$$

ただし、 T_{Ar} は複号の負をとる

$$V_{Br}, V_{Ar} = (h_r \cdot \coth Z_r \pm L_r) p_r / 2 \quad (6)$$

ただし、 V_{Ar} は複号の負をとる

$$T_{mr} = H_r \{ L_r \cdot Z_r \cdot \coth Z_r / l_r + \{ 1 - \sinh(2Z_r) / 2Z_r \} l_r / L_r \} \quad (7)$$

また L_r 、 T_{mr} が定まるとき、原長 \bar{L}_r は

$$\bar{L}_r = L_r (1 - \lambda T_{mr}) \quad (8)$$

ただし、 λ : 索の単位張力当たり弾性伸長率 ($1 / \text{kg}$)

与えられる。

(1)式および(3)、(4)式を用い、逐次近似的に H_r などの算定値を精密化することができるが、さらに精密算定値 H_r 、 L_r などを用い、必要により V_{Ar} 、 T_{mr} 、 \bar{L}_r などがそれぞれの公式から定められる。これを基本計算とよぶが、その手順は次のとおりである。

〔基本計算の手順〕

- ① L_r の近似値 L_r' などの設定： $L_r' = l \cdot \sec \alpha_r$, $k_{cr}' = 0.5$ 。なお $H_r' = 0$ とおいておく。
- ② (1) 式より H_r , (3) 式より L_r , (4) 式より k_{cr} のそれぞれより精密な値を求める。
- ③ 精密判定： $|L_r' - L_r|$, $|H_r' - H_r|$ などが、所定の微小量より大きければ、 $L_r' \doteq L_r$, $H_r' \doteq H_r$ などとしてステップ②へもどる。しからざるときは、最終段階の算定値が所要のものになる。(以下では簡単のため、このステップを「 $|L_r' - L_r|$ が所定の精度を満たすまで、ステップ②との間で計算を反復する」などと表現する。)
- ④ 必要に応じて、 V_{Ar} , V_{Br} , T_{mr} , \bar{L}_r などを(6)～(8)式により算出し、計算を終わる。

2. 結合点垂下係数 s_{Ei} を与えたときの結合点の位置 \bar{k}_{Oi} の決定、ならびに半等価架線および案内索に関する諸量の算定

搬器荷重が任意の位置にあるとき、軌索の区間(1), (2), および作業索の区間(1)～(4), (5), (n)におけるそれぞれ原長と重心位置が既知であれば、所与の s_{Ei} に対する \bar{k}_{Oi} , 半等価架線の張力の水平分力 H_F , 案内索張力など必要とする諸量は、以下のように半等価架線に静力学的つり合い条件を適用することにより、求めることができる。

半等価架線の点 F_i に関するモーメントのつり合いから、結合点にかかる荷重を

$$W_{Ti} = \{W_m + P_{O1}\}l_{F1} + W_i \cdot l_m + P_a \cdot k_i \cdot l \quad (9)$$

ただし、

添字 I : $i = 1$ のときは 2 を, $i = 2$ のときは 1 をとる ((12), (13), (17) 式も同じ)

$$W_m = W_{mS} + W_{mO} = L_S \cdot p + L_{Om} \cdot p_0 \cdot E_1 E_2 \text{ 間の軌索・作業索の重量の合計} \quad (10)$$

$$W_i = W_{Si} + W_{Oi} : \text{点 } E_i \text{ に加わる軌索・作業索の重量の合計} \quad (11)$$

$$W_{Si} = \sum_{r=1}^2 \{L_{Sr} \cdot p \times (\text{点 } E_i \text{ からの区間 } l_m \text{ における重心位置係数})\} \quad (12)$$

$$W_{Oi} = \sum_{r=1}^4 \{L_{Or} \cdot p_0 \times (\text{点 } E_i \text{ からの区間 } l_m \text{ における重心位置係数})\} \quad (13)$$

P_{O1} : 点 E_i に加わる案内索などの重量, すなわち重心位置係数を結合点からとるものとして

$$P_{O1} = L_{G1} \cdot p_1' (1 - k_{cG1}) + L_{OG} \cdot p_0 (1 - k_{cOG}) + L_{BH} \cdot p_H (1 - k_{cBH}) + Q_1 \quad (14)$$

$$P_{O2} = L_{G2} \cdot p_2' (1 - k_{cG2}) + Q_2$$

$$k_{cGi} = (k_{cBi} \cdot L_{Bi} + k_{cCi} \cdot L_{Ci}) / L_{Gi} \quad (15)$$

$$k_{cOG} = (k_{cBO} \cdot L_{BO} + k_{cCO} \cdot L_{CO}) / L_{OG} \quad (16)$$

とおけば、次式

$$H_F = (l_m + l_{F1}') W_{Ti} / l \cdot s_{Ei} \quad (17)$$

から、水平分力 H_F を求めることができる⁶⁾。ここで以下のように、 s_{Ei} によって l_{Fi} , l_m および P_{Oi} を定めれば、式(9), (17)は算定が可能になる。

所与の s_{Ei} から、直ちに角 α_{Fi} ($\overrightarrow{E_i F_i}$ 方向の傾斜角), 角 γ_i (直線 $E_i F_i$ と $B_i C_i$ とのなす角, $\angle E_i F_i C_i$ および $\angle E_i F_i B_i$) が定まるが、 L_{Gi} と、 $E_i B_i$ 間の距離 u_{Bi} と $E_i C_i$ 間の距離 u_{Ci} の和との比(索長比)

$$e_i = L_{Gi} / (u_{Bi} + u_{Ci}) \quad (18)$$

が既知のものであれば、 $E_i F_i$ 間の距離 u_{Fi} は

$$u_{Fi} = \frac{L_{Gi}}{2e_i} \cdot \frac{1 - (\rho_i \cdot e_i)^2}{1 - (\rho_i \cdot e_i \cdot \cos \gamma_i)^2} \cdot \left\{ \sqrt{\frac{1 - \{\rho_i \cdot e_i (2k_{Fi} - 1) \sin \gamma_i\}^2 - (\rho_i \cdot e_i \cdot \cos \gamma_i)^2}{1 - (\rho_i \cdot e_i)^2}} \mp \rho_i \cdot e_i (2k_{Fi} - 1) \cos \gamma_i \right\} \quad (19)$$

ただし、複号 \mp は $i=1$ のとき負を、 $i=2$ のとき正をとる

$$\rho_i = a_i' / L_{Gi}$$

a_i' : 案内索の支間斜距離 ($B_i C_i$ の長さ)

から求められる⁴⁾。 u_{Fi} が定まれば下式より l_{Fi} 、結合点 E_i の高さ h_{Ei} なども定まるから、点 E_i と案内索の支点 B_i 、 C_i との位置関係（距離、高低差、水平角など）が確定する。

$$l_{Fi} = u_{Fi} \cdot \cos \alpha_{Fi}, \quad l_m = l - (l_{F1} + l_{F2}) \quad (20)$$

$$h_{Ei} = h_{Bi} (1 - k_{Fi}) + h_{Ci} \cdot k_{Fi} \pm l_{Fi} (\tan \alpha_{Fi} \mp s_{Ei}) \quad (21)$$

ただし、複号は $i=1$ のとき上のものが、 $i=2$ のとき下のものが対応する

ここで、索長比 e_i を下記の手順により静力学的つり合い条件を適用して逐次近似的に定めれば、同時に l_{Fi} 、 P_{0i} など必要とする諸量を定めることができる。

①近似値の設定： e_i の近似値として $e_i' = 1$ 、 P_{0i} の近似値として、式(14)において $k_{cGi} = 0.5$ としたものを P_{0i}' とおく。

②(19)式より u_{Fi} 、(20)式より l_{Fi} 、 l_m 、(9)式より W_{Ti} を求め、(17)式より H_F を算出する。

③結合点を含む水平面へのLAMIの定理の適用および関係式 $H_{B1} = [H_{B1}] - H_{B0} - H_{BH}$ 、 $H_{C1} = [H_{C1}] - H_{C0}$ （ただし、 $[\]$ 中は案内索・作業索などの張力の合力の水平分力を示す）などから案内索の張力の水平分力 H_{Bi} 、 H_{Ci} を求める。

④(21)式を算定し、(3)式より案内索長などを求め、(18)式から e_i を、また(4)、(15)式から k_{cGi} を求めて(14)式から P_{0i} を算定する

⑤精度判定： $|e_i' - e_i|$ 、 $|P_{0i}' - P_{0i}|$ が所定の精度を満たすまで、ステップ②との間で計算を反復する。

⑥(5)式より案内索の張力をなどとして、基本計算により必要な諸量を求める。

実用算定法では、軌索と作業索または案内索と作業索など、複数の索が平行に配置される区間について、それらが一体となった仮想索³⁾として扱うことができ、また重心位置係数をすべて0.5とするから、計算はかなり簡略化される。 P_{0i} による精度判定は行なわない。また、軌索・作業索の各区間における索長は、その原長を含め、所与の値($k=0.5$ における設計計算値)から変わらないものとする。

3. 結合点の位置 \bar{k}_{0i} が与えられたときの軌索・作業索の原索垂下比、張力等の算定

ここでは、任意の荷重位置において、両結合点の位置 \bar{k}_{0i} が既知のものとなり、したがって l_m , α_m , h_m などが定まったとき、与えられた軌索・作業索の原長をもとにして、それらの原索垂下比、張力など、必要な諸量を求める算定法について述べる。

1) 原索垂下比 s , s_0 の算定

(1) E_1E_2 間の軌索・作業索の原長 \bar{L} (\bar{L}_S および $\bar{L}_{Om}/2$) が既知のとき、次項 (2) に述べる実用算定法で求めた軌索・作業索の原索垂下比を最初の近似値 s' (s' および s_0') として設定し、以下の手順により、それぞれの精密値 s (s および s_0) を求めることができる。

① 近似値の設定: s' のほか、索長の近似値 L' を次式より算定する。

$$L' = (1 + 8s'^2 \cos^4 \alpha_m / 3) \sec \alpha_m \cdot l_m$$

② $K = 2s' l_m / L'$, $Z = \log \{ (1 + K) / (1 - K) \}$ とおき、より精密な索長 L を (3) 式から算出する。

③ $|L' - L|$ が所定の精度を満たすまで、ステップ②との間で逐次近似の計算を反復する。

④ 軌索の無負荷状態での値として、 H_S , T_{2S} , V_{2S} ならびに V_{1S} を、それぞれ (2), (5), (6) 式から求めておく。(次項の2)において使用する。)

⑤ (7) 式, (8) 式を使用して原長を求め、 \bar{L}' とおく。

⑥ 定索長条件の適用: 所与の \bar{L} との差 ($\bar{L}' - \bar{L}$) が所定の微小量よりも大きければ、その大きさおよび正・負に応じて s' の値を適宜減少または増加してステップ①に戻る。しからざるときは最終段階での s' が所要の s となる。(以下では簡単のため、これを「 $(\bar{L}' - \bar{L})$ が所定の精度を満たすまで、 s' に正の調整を行ない、ステップ①との間で計算を反復する」などと表現する。)

(2) 実用算定法では、まず軌索・作業索の原長に対する索長比から、仮想的な無補正垂下比を次式から求め、

$$s_I = \sec^2 \alpha_m \sqrt{3 \{ \bar{L} / (\sec \alpha_m \cdot l_m) - 1 \} / 8} \quad (22)$$

次に下記公式³⁾において、 $G_I = 0$, $G_{II} = 1$ において補正係数 ϵ を求めることにより、それぞれの自重によって補正された原索垂下比 s_{II} ($= s_I \cdot \epsilon$) を得る。

$$\epsilon^3 + b\epsilon - a = 0 \quad (23)$$

ただし、 $a = G_{II} / M_{S I}$

$$b = G_I / M_{S I} - (1 + D_{S I})$$

$$M_{S I} = 64 (s_I \cos^2 \alpha_m)^3 / \{ 3 (\lambda p) l_m \}$$

$$D_{S I} = 3 \Delta / \{ 8 (s_I \cos^2 \alpha_m)^2 \}$$

Δ : 非弾性的な索長変化率

このとき、(22) 式で $\bar{L} / (\sec \alpha_m \cdot l_m) - 1$ が負となって算定が不可能となる場合には、適当な無補正垂下比 s_I' を仮定し、結果的に補正垂下比 s_{II} が求めるものと同じものになるような非弾性的な索長変化率を算定し (たとえば $s_I' = \sec^2 \alpha_m / 100$ と仮定すれば、 $\Delta = \{ \bar{L} / (\sec \alpha_m \cdot l_m) - 1 \} - 8 / (3 \times 10^4) + 10^2 \lambda \cdot p \cdot l_m / 8$ を得る)、 $G_I = G_{II} = 1$ として (22) 式を適用すればよい。

2) 軌索・作業索張力等の算定

次の手順により、軌索・作業索に静力学的つり合い条件、定索長条件を適用すれば、それらの張力など必要とする諸量を求めることができる。ここで、軌索の区間における荷重点Dの位置を示すため、結合点E₁、E₂からの位置係数をそれぞれ $k_{m1} (= (kl - l_{F1}) / l_m)$ 、 $k_{m2} (= 1 - k_{m1})$ とする。また $\overline{E_1E_2}$ からの点Dの垂下量を f_{Dm} とし、E₁D間およびDE₂間の高低差を、それぞれ h_1 、 h_2 とする。なおここで、搬器が軌索に係留され、荷上げドラムの制動が解かれている状態を、搬器は「荷上げ動作」にあるといい、搬器の軌索への係留は解かれ、荷上げドラムは制動されている状態を、搬器は「走行動作」にあるというが、以下の手順において、搬器が走行動作にあるときのみ該当し、荷上げ動作にある場合は該当しない（ジャンプして通過する）ステップには、*印を付した。

①近似値の設定：結合点E₁における作業索張力 T_{10} 、 T_{20} および荷重点垂下量 f_{Dm} の近似値として、近似解法¹⁾による解を用い、それぞれ T_{10}' 、 T_{20}' 、 f_{Dm}' とおく。また軌索の区間(2)における張力の水平分力の近似値 H_{2S}' を、(1)式において $M_r \doteq \{(l_m k_{m2})^2 + (l_m k_{m2} \tan \alpha_m + f_{Dm}')^2\}^{1/2}$ $p/2$ とおき算出する。

②作業索の区間(1)および(4)において、点Dにおける張力をそれぞれ $T_{10}' + h_1 p_0$ 、 $T_{20}' - h_2 p_0$ とおいて基本計算を適用し、それら区間の水平分力、索長、上方の端点Dにおける鉛直分力、重心位置係数すなわち(H_{10} 、 L_{10} 、 V_{10D} 、 k_{c10})および(H_{40} 、 L_{40} 、 V_{40D} 、 k_{c40})を求める。また区間(2)および(3)において、点E₂における張力を T_{20}' として基本計算を適用し、それら区間の水平分力、下方の端点Dにおける鉛直分力、重心位置係数すなわち(H_{20} 、 V_{20D} 、 k_{c20})を求める。

③軌索・作業索の張力の水平分力のつり合いから、軌索の区間(1)における張力の水平分力 H_{1S}' を $H_{1S}' = H_{2S}' + 2H_{20} - H_{10} - H_{40}$ として求め、 H_{1S}' 、 H_{2S}' に(3)、(7)、(8)式を順次適用して軌索の原長 $\bar{L}_S' (= \bar{L}_{1S}' + \bar{L}_{2S}')$ を算定する。

④ $h_1 = (h_m \coth Z_{2S} - L_T) / (\coth Z_{1S} + \coth Z_{2S})$ または

$$h_2 = (h_m \coth Z_{1S} + L_T) / (\coth Z_{1S} + \coth Z_{2S})$$

ただし、 $Z_{iS} = l_i \cdot p / 2H_{iS}'$

$$L_T = L_S + 2P_a / p - DV$$

L_S : L_{1S} 、 L_{2S} を(3)式より求め合計したもの

$DV = 2V_{20D} - V_{10D} - V_{40D}$: 作業索による荷重 P_a の負担分

を算出し、 f_{Dm} を次式から求める。

$$f_{Dm} = k_{m1} h_m - h_1 \text{ または } f_{Dm} = h_2 - k_{m2} h_m$$

⑤精度判定： $|f_{Dm}' - f_{Dm}|$ が所定の精度を満たすまで、ステップ②との間で逐次近似の計算を反復する。

⑥軌索の定索長条件の適用：ステップ③で求めた \bar{L}_S' と所与の \bar{L}_S について、 $(\bar{L}_S' - \bar{L}_S)$ が所定の精度を満たすまで、 H_{2S}' に負の調整を行ない、ステップ②との間で計算を反復する。

⑦*軌索の区間(2)について(5)式を適用し、点Dにおける張力 T_{2SD} を求め、また2.節

で述べた計算のために、新たに(12)式により W_{Si} を定める。

⑧*精度判定： T_{2SD} について基本計算を適用し、軌索の区間(1)の水平分力 H_{1S} を算出する。ステップ③で求めた H_{1S}' との差($H_{1S}' - H_{1S}$)が、所定の精度を満たすまで T_{20}' に正の調整を行ない、ステップ②との間で計算を反復する。

⑨作業索の定索長条件の適用：作業索の各区間に、基本計算を適用し、全長にわたる原長 \bar{L}_0' を算出する。 $(\bar{L}_0' - \bar{L}_0)$ が所定の精度を満たすまで、 T_{20}' 、 T_{10}' に負の調整を行ない、ステップ②との間で計算を反復する。

⑩軌索張力 T_{2S} を、 $T_{2S} = T_{DS} + h_2 \cdot p$ として求め、同じく T_{1S} を軌索の区間(1)に(5)式を適用して求め、一連の計算を終わる。このとき同時に、反復計算のために、 $H_F = H_{2S} + 2H_{20}$ より軌索・作業索の張力の水平分力の和を求め、さらに、2.節で述べた計算のために、(10)～(16)式を使用し、より精度の高い W_m 、 W_i および P_{0i} を求めておく。

搬器荷重が、結合点位置にある($k_{m1} = 0$)と想定するときは、既に無負荷状態での軌索の諸量 H_S 、 T_{2S} 、 V_{2S} 、 V_{1S} が1)項のステップ④で算出されており、計算はかなり簡易化される。まず(12)式から、 $W_{S2} = (L_S \cdot p + V_{1S} + V_{2S}) / 2 - H_S \cdot \tan \alpha_m$ 、 $W_{S1} = L_S \cdot p - W_{S2}$ と与えられるが、 $k_{m2} = 0$ の場合(搬器荷重が結合点 E_2 にある場合)についての計算手順で、その概要を示せば、次のとおりである。

①近似値の設定：近似解の T_{10} 、 T_{20} をそれぞれ近似値 T_{10}' 、 T_{20}' として設定する。

②作業索の区間(1)、(4)について、それぞれ点 E_2 における張力 $T_{10}' + h_m \cdot p_0$ 、 T_{20}' を使用し、 $l_1 = l_4 = l_m$ 、 $\alpha_1 = \alpha_4 = \alpha_m$ として基本計算を適用することにより、張力の水平分力、点 E_2 における鉛直分力、点 E_1 からの重心位置係数、索長の値、すなわち区間(1)に対して(H_{10} 、 V_{102} 、 k_{c10} 、 L_{10})、および区間(4)に対して(H_{40} 、 V_{402} 、 k_{c40} 、 L_{40})を求める。

③*点 E_2 における軌索・作業索の張力の合力 $[T_2] = \{(H_2 + H_{10} + H_{40})^2 + (V_{2S} + V_{102} + V_{402} + P_a)^2\}^{1/2}$ を求め、より精度の高い T_{20} を $T_{20} = ([T_2] - T_{2S}) / 2$ として算出する。

④*精度判定： $|T_{20}' - T_{20}|$ の精度において、ステップ②との間で計算を反復する。

⑤作業索の定索長条件の適用：前記のステップ⑨と同様の計算を行なう。

⑥ T_{1S} 、 H_F を、 $T_{1S} = T_{2S} - h_m \cdot p$ 、 $H_F = H_S + H_{10} + H_{40}$ として求め、また、 $L_{0m} = L_{10} + L_{40}$ などとして(10)～(13)式を使用し、より精度の高い W_m 、 W_i を算出しておく。

搬器が結合点 E_1 にある($k_{m1} = 0$)のときには、ステップ③、④に相当する部分を、作業索の区間(2)、(3)において基本計算を適用し、点 E_1 における張力の合力 $[T_1] = \{(H_S + 2H_{20})^2 + (V_{1S} + 2V_{201} - P_a)^2\}^{1/2}$ を算定するようにすればよい。

4. 全体の計算手順

H型架線の設計計算法(精密算定法)⁶⁾によれば、任意の軌索方向(k_{F1} 、 k_{F2})において許容搬器荷重が半等価架線の支間中央に加わる場合の諸量が算定できる。この算定値を基準値として、本章2.～3.節の計算法を下記手順に従って適用すれば、同じ搬器荷重が軌索上でその位置を変え

る場合の作業索張力など、必要とする諸量の精密算定値を得ることができる。

計算のはじめに、基準値のうち、結合点 E_1 における軌索・作業索の張力 T_{iS} , T_{20} , 案内索の支点 B_1 , C_1 における作業索の張力 T_{B0} , T_{C0} などを使用し、軌索・作業索の各区間に順次基本計算を適用して原長 \bar{L}_{Sf} , \bar{L}_{Or} を求め、それぞれを合計して \bar{L}_S , \bar{L}_O を定める。また下式より半等価架線の原索垂下比 s_F （補正垂下比に相当するもの）を求めておく。

$$\left. \begin{aligned} s_F &= s_{E2} \cdot [G]_{k=0.5} / 4 \left\{ (1 - \bar{k}_{02})^2 - \bar{k}_{01}^2 + n + 2n_{01} \cdot \bar{k}_{01} + 2n_{02} (1 - \bar{k}_{02}) \right\} \\ &\text{または} \\ s_F &= s_{E1} \cdot [G]_{k=0.5} / 4 \left\{ (1 - \bar{k}_{01})^2 - \bar{k}_{02}^2 + n + 2n_{01} (1 - \bar{k}_{01}) + 2n_{02} \cdot \bar{k}_{02} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

ただし、 $[G]_{k=0.5}$: 半等価架線の支間中央における負荷係数。文献⁶⁾の(9)式において、半等価架線の索自重を $W = u(p + 2p_0)$ とし（図-3参照）、位置係数 k を0.5とおいたもの

$$n = P_a / W$$

$$n_{01} = P_{0i} / W$$

① 任意の荷重位置 k における結合点垂下係数 s_{Ei} の近似値の算定：まず上記の s_F を使用し、半等価架線の張力の水平分力の概算値を次式より求め、

$$H_F = WG / 8s_F' \quad (25)$$

ただし、 W , G : 前式のものと同じ

$s_F' = s_F \cdot \epsilon$: E_1E_2 間の弾性伸長を考慮した補正垂下比

ϵ : 垂下比 s_F の逆補正係数に相当するもの、(23)式において弾性伸長率 λ を、 $(1 - \bar{k}_{01} - \bar{k}_{02})$ 倍して求める

しかるのち、次式⁵⁾によって任意の荷重位置での s_{Ei} を算出し（ただし、この段階では、 \bar{k}_{0i} の値は $k = 0.5$ の場合の基準値に固定しているから、算定値は大まかなものになる）、概算値 s_{Ei}' とおく。

$$\left. \begin{aligned} s_{E2} &= 0.5 W \left\{ (1 - \bar{k}_{02})^2 - \bar{k}_{01}^2 + 2n \cdot k_1 + 2n_{01} \cdot \bar{k}_{01} + 2n_{02} (1 - \bar{k}_{02}) \right\} / H_F \\ s_{E1} &= 0.5 W \left\{ (1 - \bar{k}_{01})^2 - \bar{k}_{02}^2 + 2n \cdot k_2 + 2n_{01} (1 - \bar{k}_{01}) + 2n_{02} \cdot \bar{k}_{02} \right\} / H_F \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

② s_{Ei}' よって、2. 節に述べた計算（ただし実用算定法）を行なう。求めた半等価架線の張力の水平分力を H_F' とおく。

③ 3. 節1) 項の(2)に述べた方法により、 s , s_0 の実用算定値を求める。

④ 放物線索理論の諸公式を用い、軌索・作業索の張力 T_{iS} , T_{i0} 等とそれらの水平分力の和 H_F , 荷重点垂下量 f_{Dm} などを求める。この計算は、文献¹⁾の近似解法（ただし、この架線の作業索の張り回しかたに合わせて小さな改変を要する）を用いれば、著しく効果的に行なうことができる。

⑤ $(H_F' - H_F)$ が所定の精度を満たすまで、 s_{Ei}' に負の調整を行ないステップ②に戻る。しからざるときは、最終段階の値をもって実用算定値が定まる。

⑥ 実用算定値の s_{Ei} ならびに W_m , W_i を、それぞれ逐次近似計算の初期値 s_{Ei}' , W_m' , W_i' として、2. 節に述べた計算（ただし精密算定法）を行なう。 \bar{k}_{01} その他必要な諸量を求め、また、 E_1E_2 間の作業索の原長 \bar{L}_{Om} を新たに算定する。半等価架線の張力の水平分力を H_F' とおく。

⑦ 3. 節 1) 項の (1) に述べた精密算定法により, s, s_0 を算定する。

⑧ 3. 節 2) 項に述べた精密算定法により, $T_{iS}, T_{iO}, f_{Dm}, H_F$ など必要な諸量を求める。

⑨ ($H'_F - H_F$) によって, ステップ⑥との間において⑤と同様の s_{Ei}' の調整を行なうが, このとき同時に, (9)式による W_{Ti} の算定のために W_m, W_i , (14)式による P_{01} 算定のために $L_{OG}, k_{cOG}, L_{BH}, k_{cBH}$, そのほか H_{BO}, H_{CO}, H_{BH} の, それぞれより精度の高い値をもってステップ⑥に戻る。最終段階の各算定値が, 求める諸量の精密算定値となる。

IV 計算結果と考察

算定のために与えた支間条件は, 実際の架設例⁷⁾などを考慮し, 特別な場合を除き以下のとおり定めた。図-2において架線の平面形状を $a_1=a_2, b=c$ の長方形とし, $b/a_1=2$ と固定した。案内索支点の高さは, 左右等高すなわち $h_{B1}=h_{B2}, h_{B2}=h_{C2}$ とし半等価架線の支間傾斜角を比較するため, $h(=h_{B2}-h_{B1})/b$ の値を尺度として, 0.3, 0.15, 0 の3とおり, あるいはこれに0.45を加えた4とおりの勾配をとった(架設規模の大きい架線ほど勾配の増大にたいして, 集材を不可能とさせる面積率を大きくし, また所定の範囲内に上部結合点の位置係数 k_{02} を維持することができなくなる⁷⁾)。また架線の規模を比較するため, 同じく b の値を用いて1000 m, 750 m, 500 m, 250 m の4とおりをとり, それぞれ記号 LL, L, S, SS をもって表わした。荷重条件としては, 設計荷重として許容搬器荷重を $P_a=726 \text{ m} \times p$ としたが, これは軌索の最大張力 ($T_{2S})_{\max}$ が JIS 1号 A種鋼索で安全率を3.0としたときの許容張力 $T_a=5447 \text{ m} \times p$ を満足し, また4輪搬器としたときの輪圧張力比を, $1/30$ としたものに対応するものである。なお引き寄せ側作業索の張力 T_{10} には, P_a が半等価架線の支間中央に加ったとき, JIS 3号 A種ラング撚り鋼索で安全率を10としたときの値 $1510 \text{ m} \times p_0$ を与えた。外部張り回し区間としては, 案内索の支点 B_1 から駆動ドラムまでに3区間を, $l_r(r=6, 7, 8) = (200, 200, 100) \text{ m}$, $h_r(r=6, 7, 8) = (40, 20, 10) \text{ m}$ としてとり, これと同じ3区間を, 駆動ドラムから案内索の支点 C_1 の間に, 駆動ドラムを中心として対称的に, 区間 (9), (10), (11) として設置するものとした。

対比する Y 型架線には, 支間条件として, 平面形が Y の字の縦軸方向に関して左右対称であり, また案内索の支点が等高であるものを考え, 軌索の方向が対称軸方向と一致する ($k_F=0.5$) ときの半等価架線 \widehat{AF} の支間長 l (図-3 (b) 参照) を上記 H 型架線の場合の b に相当するものとして, 勾配 $h(=h_B)/b$ について H 型架線と同様3ないし4とおり, 規模についても同様に, LL, L, S, SS の4とおりをとった。Y 型架線では, 作業索が軌索の下方支点 A にある駆動ドラムから, 折り返されていると考える。その他の条件は, 図-4 に注記したとおりである。

計算結果の概要は, 以下の図-4ないし図-8に示すが, これらはいずれも荷重位置(横軸の半等価架線における位置係数 k_1) に対する索張力, 原索垂下比などの変化状況(縦軸)を表わしたものである。

1. 諸量の変化の基本的な傾向

まず、H型架線、Y型架線ともに、軌索の方向による諸索の張力、 $r_s (=s_0/s)$ 、 \bar{k}_{0i} などに大きな差は認められなかった。これは、これらの架線が軌索の方向を任意に定めた後、その都度軌索・作業索について、所定の張力によって索張りを調整することによる。ただ s_0 、 s だけが軌索の方向によって、若干（10%程度まで）変動するのが例外的であるが、両者はほぼ同率で変化するので r_s の変化は微小である。

図-4は、H型・Y型架線で、架線の規模LL（大規模）の場合を例にとり、軌索の方向がH型架線では $k_{Fi} = 0.5$ 、Y型架線では $k_F = 0.5$ としたときの、軌索・作業索の張力（同図(a)）と、それらの索の垂下比 s 、 s_0 ならびにその比 r_s （同じく(b)）を示したものである。ただし張力の大きさは、軌索については T_{1s}/p または T_{2s}/p 、作業索については T_{10}/p_0 、すなわち m 単位で長さで表わしてある。まず軌索の張力は、いずれも $k = 0.45 \sim 0.5$ 付近に極大値をもち、それより左右にはほぼ対称的に減衰する上凸の曲線形を示す（搬器の走行範囲はH型架線では $k_1 = 0.114 \sim 0.851$ 、Y型架線では $k_1 = 0 \sim 0.868$ であった）。H型・Y型架線のいずれにおいても、軌索の張力 T_{2s} の最高値は、当然のことながら所与の $T_a = 5447 m \times p$ に一致するものである。ここで T_{1s} との間には、 $T_{2s} = T_{1s} + h_m \cdot p$ なる関係がある。これに対し、作業索の張力は、架線の規模がきわめて小さい場合（規模SS）を除けば、一般には図に示すように、むしろ支間中央部付近の範囲で極小値をもち、下凸でかつ緩い曲線形をとる。Y型架線では、 T_{20} が下方支点付近で向きを反転させる傾向が認められるものの、一般にその傾向は小さく、全体として問題となる程度のものではない。このことは、この報告で提示した設計上の諸条件に従うかぎり、H型・Y型架線とも、作業索の張力は一般に単調かつ緩慢な曲率の下凸の曲線群となることを示しているもので、搬器荷重の走行を円滑に操作するという、作業索の本来の目的にも合致するものと考えてよいであろう。

同図(b)における原索垂下比は、H型架線では $k = 0.5$ 付近、Y型架線ではそれより若干小さい k_1 の範囲で極大値をもち単調な上凸の曲線となることを示している。この垂下比の変化は、荷重位置によって結合点すなわち軌索の支点が変位することを示すものであり、このこと自体、案内索の緊張度の変化に起因するものであるから、H型・Y型架線の特徴といえよう。なおこの図の例の r_s は、ほぼH型架線で $1.5 \sim 1.9$ 、Y型架線で $1.4 \sim 1.7$ の範囲の値をとる緩い下凸の曲線となる。これらの値は条件によって大きく変わるということはない。

なお、荷重位置 k_1 によって、案内索の張力 T_{B1} 、 T_{C1} 、 T_{B2} 、 T_{C2} 、荷重点垂下量 $f_D/1$ 、結合点垂下係数 s_{Ei} なども変化するが、その変化の傾向は既に報告したとおりである^{4,6)}。すなわちこれら諸索の張力、荷重点垂下量は、軌索張力と同様に $k_1 = 0.5$ 前後で極大値をもち、その前後では低減する曲線を描くが、案内索の張力はこのほか、軌索の方向の影響を強く受ける。 s_{Ei} は k_1 の値とともに下凸の曲線状を呈しながら大きく変動するが、 \bar{k}_{0i} の変化は比較的小さいものである（架線の規模・勾配によって変わるが、一般に $1.0 \sim 4.5\%$ 程度の範囲内で変化する）。

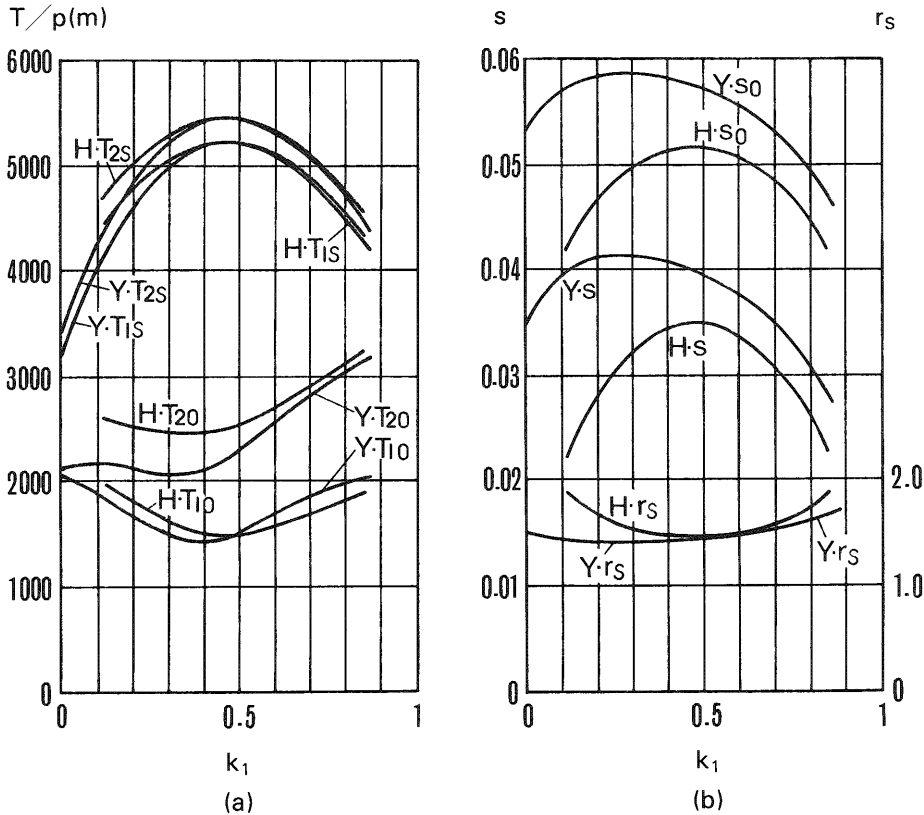


図-4 計算諸量の基本的な変化の傾向

General changes in tension and sag span ratio with move of the carriage-load (k_1 : load position factor on the "semiequivalent cable") in case of the direction of the track cable set to $k_{F1}=k_{F2}=0.5$

Where, H: H-type crane, Y: Y-type crane

T_{2s} : Tension in E_2 of track cable

T_{1s} : Tension in E_1 of track cable

T_{20} : Tension in E_2 of operating line

T_{10} : Tension in E_1 of operating line

s: sag span ratio of track cable

s_0 : sag span ratio of operating line in span of E_1E_2 (H-type crane), AE (Y-type crane), when removed the line from carriage

$$r_s = s_0/s$$

Span conditions: $a_1=a_2=500$ m, $b=c=1000$ m, in a rectangular plane form, $h_{B1}=h_{C1}=0$ m, $h_{B2}=h_{C2}=300$ m; guide cable lengths L_{G1} ($B_1E_1C_1$ in Fig. 2) and L_{G2} ($B_2E_2C_2$) are calculated to be 549.7 m and 607.1 m respectively.

Y-type crane has an isosceles triangle in plane figure touched internally to the rectangular above, with $L_{G1}=0$ m, $L_{G2}=588.4$ m; driving drum is assumed to be equipped at support point A in Fig. 3 (b).

Load conditions: $P_a=726 \times p$, $Q_1=90 \times p$, $Q_2=70 \times p$, $(T_{2s})_{max}=5447 \times p$, $T_{10}=1510 \times p$ (at $k_1=0.5$), $p'_1/p=p'_2/p=2.25$, $p_0/p=p_H/p=0.25$; carriage is in running state (clamp released for track cable and hoisting drum braked).

In Y-type crane, conditions correspond to use $Q_1=0$, $Q_2=70 \times p$, $p'_1=p_H=0$ for the numerals above.

2. 架線の規模による諸量の変化の傾向

図-5は、架線の規模の差による作業索の張力、軌索・作業索の垂下比ならびに r_s の変化の状態をH型架線の場合で示したものである(軌索の方向は、 $k_{F1}=0.1$, $k_{F2}=0.9$ としている)。一般に作業索の張力(同図(a))は、 T_{10} , T_{20} とも架線の規模とともに大きくなるが、図に示されるように支間中央の $k_1=0.5$ 付近の差異は小さく(いうまでもなく、 T_{10} の値は $k_1=0.5$ において所与の値 $1500m \times p_0$ に固定されている)、荷重位置が前後の支点に近づくにつれて大きく変化する特徴をもっている。その変化の状態は、規模Sまでは下凸の曲線を描くが、規模SSでは逆に上凸に変わり、作業索の緊張度が過大になろうとする傾向を示す。これは本章冒頭で述べた設計方法で計

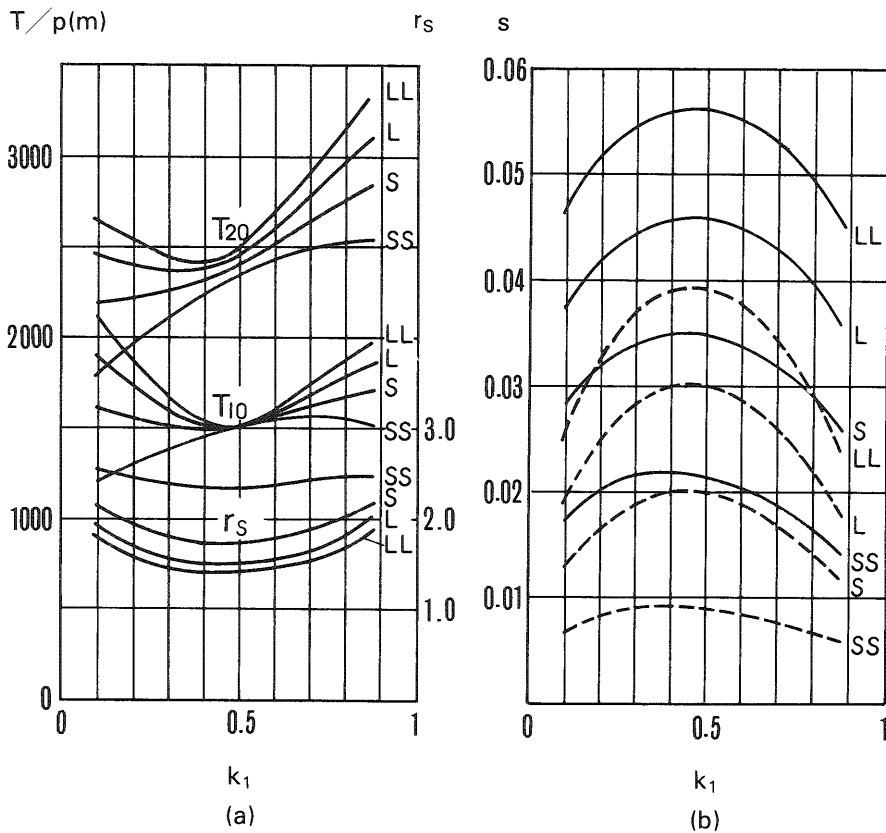


図-5 架線の規模による諸量の変化の傾向

Changes in the numerals with variance of scale of the H-type cable crane in case of the direction of the track cable set to $k_{F1}=0.1$, $k_{F2}=0.9$

Where, LL: $a_1=a_2=500$ m, $b=c=1000$ m

L: $a_1=a_2=375$ m, $b=c=750$ m

S: $a_1=a_2=250$ m, $b=c=500$ m

SS: $a_1=a_2=125$ m, $b=c=250$ m

In Fig. (b) solid lines and dashed lines show values of s_0 and s respectively.

Other symbols and conditions are the same as those in Fig. 4.

算する場合の共通的な現象であり、同様の方針で設計された Y 型架線においても、その規模 SS のものと同じ傾向が現われる。垂下比 (同図 (b)) は、 s (破線)、 s_0 (実線) とともに上凸の形状をとりながら、架線の規模が小さくなるとともに低下するが、規模 SS では s の低下率が一段と大きく、かつ k_1 による変化が緩慢になるので、 r_s で見るかぎり、規模 SS で大きくかつ扁平な曲線になる (同図 (a) 下部)。 r_s の値は架線の規模が大きくなるとともに小さくなるものである。

3. 架線の勾配による諸量の変化の傾向

ここで勾配とは、本章の冒頭で述べたように、平面形が長方形または二等辺三角形を形成する、それぞれ H 型または Y 型架線の案内索の支点の高度によって定義されたものをいうが、軌索の方向を固定すれば、半等価架線の支間傾斜角はおのずから定まることになる。

図-6 は、架線規模 L の H 型架線で上述の勾配を変化させた場合の作業索の張力の変化の状態を示したものである (軌索の方向は、 $k_{F1}=0.1$ 、 $k_{F2}=0.9$ としている)。すべて下凸の曲線であるが、勾配の増加にともない、始め T_{10} と同じレベル ($k_1=0.5$ において、 $1510\text{ m} \times p_0$) にあった T_{20} は、当然のことながら荷重牽引力に対応して増大し、その差を大きくする。またそれぞれの曲線の形は、勾配の増加とともに $k_1=0.5$ の位置を中心として反時計方向に回転する、すなわち k_1 の大きい方向に向かって勾配を高めるように変形する。

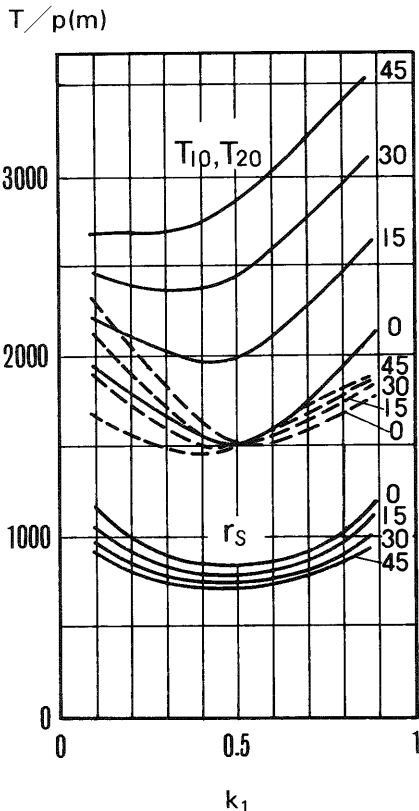


図-6 架線の勾配による諸量の変化の傾向

Changes in the numerals with variance of span inclination of the H-type cable crane having large scale of LL (see Fig. 5) (the direction of the track cable is set to $k_{F1}=0.1$, $k_{F2}=0.9$)

Where, 45, 30, 15, and 0 mean 0.45, 0.30, 0.15, and 0 of slope of $(h_{B2}-h_{B1})/b$, respectively.

On tension solid lines and dashed lines show T_{20} and T_{10} respectively.

Other symbols and conditions are the same as those in Fig. 4.

垂下比 s , s_0 の勾配による変化は小さく、図には省略したが、 s は $k_1 = 0.5$ における値すなわちほぼ 0.03 を極大値とする 1 つの上凸の曲線群、 s_0 は同じくほぼ 0.05 を極大値とする 1 個の上凸曲線群にまとまって分布する。 r_s の変化も比較的小さいが、同図下部に示すように勾配の大きい場合ほど小さい値で分布している。

4. その他の条件による諸量の変化の傾向

一般に上部結合点における作業索の張力 T_{20} は、

$$T_{20} = T_{40} + h_m p_0$$

なる関係を満たすが、搬器が荷上げ動作にあるときには

$$T_{40} = T_{10} + (P_a - P_c) / \eta$$

ただし、 η : 搬器に内蔵される荷上げドラムの減速比

なる関係が成り立つから、この式を上式に代入すれば、 T_{10} と T_{20} との関係を得る。したがって積載量が大きければそれだけ両者の差は大きくなるが、このほか、 h_m の大きさにより影響を受けることはいうまでもない。 $E_1 E_2$ 間の勾配の小さい場合、走行動作では T_{10} , T_{20} の差は小さいから、荷上げ動作に移行したとき、両者の差が顕著になる。しかしながら、軌索の張力、垂下比 s および s_0 ならびに r_s などは荷上げ動作に移行しても大きく変わらない。これは荷上げ動作に移行しても、 \bar{k}_{0i} がほとんど変化しないことによるものである。

図-7は、H型架線で空搬器が走行する場合について、 T_{10} , T_{20} , s , s_0 などを示したものである（軌索の方向は、 $k_{F1} = 0.1$, $k_{F2} = 0.9$ としている）。同図(a)の実線は、勾配0.3で規模LLの架線において、破線は同じく規模SSにおいての実搬器状態から空搬器状態（空荷状態）への移行に際して、作業索張力の変化の状況を示したものである。当然のことながら、 T_{10} , T_{20} の差は縮小し、かつその差は k_1 の値にかかわらず固有の値に近づくものであるが、架線規模の大きい架線で勾配の比較的大きい場合には、空荷状態での T_{10} が木材を吊った状態での T_{10} の値より大きくなる可能性がある。この計算例の場合では、図示しなかったが、規模Sとなつてはじめて空荷状態での T_{10} が、実搬器状態での T_{10} より、 $k_1 = 0.5$ 付近において小さくなる。規模SSでは、図の破線のように k_1 のほとんどの範囲で空荷状態での T_{10} が小さくなるが、この場合には、2.節で述べたように、実搬器状態の T_{10} が上凸となる。同図(b)は、規模LLと規模SSとの場合において、空荷状態に移行する際の垂下比の変化の状況を示したものである。一般に荷重比が小さくなれば、荷重位置の変動による結合点の移動量も小さくなるから、垂下比の変化は緩慢なものになる。

外部張り回し区間が拡大あるいは縮小すれば、それに応じてエンドレス状の作業索の全長が変化する。一般に作業索長が増加すれば、 T_{10} , T_{20} の変化は緩慢なものになり、外部張り回し区間において、各区間の水平距離、斜距離が同じ率で拡大するものとした場合には、架設規模の大きい架線ほど強く変化が緩和される傾向がある。 r_s は当然のことながら、外部張り回し区間の拡張によって低下するが、その低下の割合は規模の小さい架線ほど大きい傾向がある。

作業索の安全率は10に固定したが、これを仮に高めれば当然のことながら、作業索の張力は小

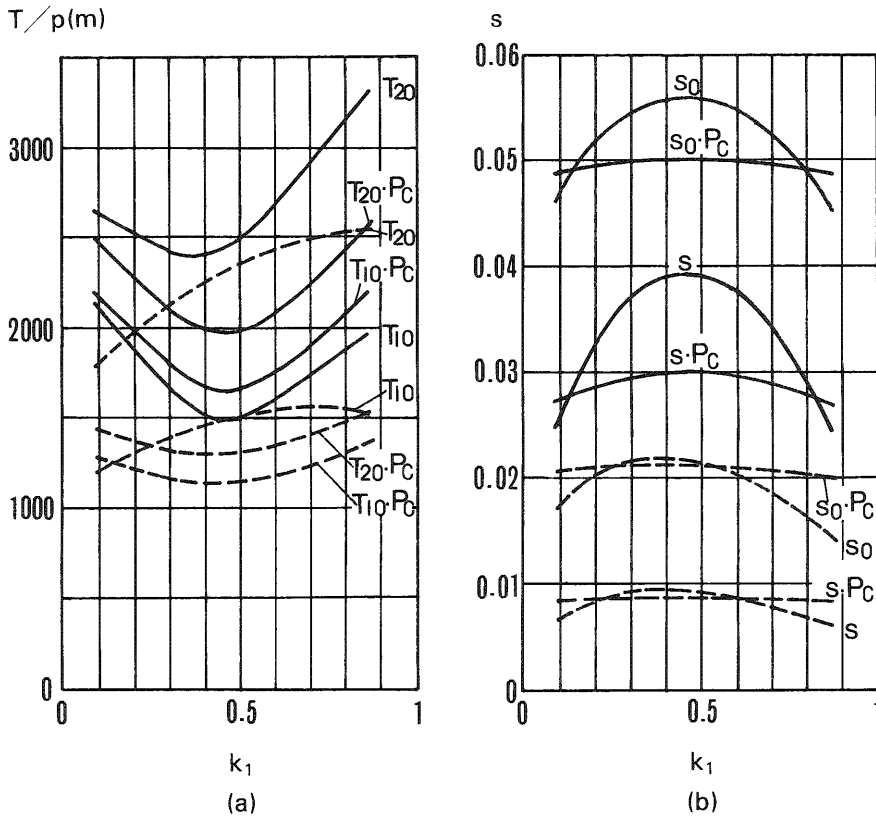


図-7 空搬器状態における諸量の変化の傾向

Changes in the numerals when the empty carriage-load (weight: $100\text{ m} \times p_0$) runs (the direction of the track cable is set to $k_{F1} = 0.1$, $k_{F2} = 0.9$)

Where, P_C : values in empty carriage state

Solid lines and dashed lines show values in scale of LL (large scale in Fig. 4) and SS (small scale in Fig. 4) respectively.

Other symbols and conditions are the same as those in Fig. 4.

さくなり r_s は大きくなる。また p_0/p を 0.25 に固定したが、これを仮に高めれば、作業索の張力ならびに r_s は小さくなる傾向がある。

軌索・作業索の弾性伸長が無いものと仮定した場合、作業索の垂下比は小さく、張力は増大するが、軌索に関しては逆の傾向、すなわち一般に垂下比は大きく、張力は低下する傾向があるのは興味のあることである。

V 結 語

これまでに、H型架線、Y型架線について設計計算法の開発と、実際の設計に当たったの問題点について明らかにしてきたが、作業索の基本的な問題については触れることがなかった。作業索に関する問題の検討は、特にその形状をエンドレス状とする場合においては、それ自体が不静定なものであることもあり、架線系全体の構成要素として諸索と関係し合う場合に、解析は複雑化し、困難性を増してくる。本研究では、半等価架線に仮想索の考え方³⁾を導入し、電算機によって体系的かつ逐一的に逐次近似の計算を行なうことにより、荷重条件が変化する場合の作業索の張力をはじめとする諸問題について、解法を与えることができた。前章で明らかにしたように、H型、Y型架線においては、荷重位置の移動によって負荷が変動するとき、結合点が僅かであるが案内索の緊張度の変化によって移動し、これが軌索・作業索の垂下比に変化を与えることにより、一般の架線すなわち両支点を固定した架線における場合に比較して、これらの索の張力の変化が著しく緩和される。このことは、衝撃を緩和するという点でも同様の効果が期待できると考えられ、機能上、作業の安全上、これら架線のもつすぐれた性質であるといえよう。なお、算定式には示さなかったが、負荷の変動により、軌索引締め索が1対の引締め滑車の間から出入りし、軌索の支間 l_m が変化する。しかし、その変化は比較的小さく、規模LLの計算例でも最大20 cm程度にすぎず、そのことによって張力の変化が緩和される効果は、ほとんど無視しうる程度に小さいものであった。

この研究の計算には、筑波大学学術情報処理センターのFACOM M780/20を使用した。この程度の計算になるといわゆるパソコンの使用は、その処理能力のうえから問題にならないといつてよい。

この研究によって、H型架線、Y型架線に関係した主要な問題はほとんど解決したと思われる。これらの架線では、一般にその架設・撤去に多くの人手を要するということが短所とされているが、架設後は伐区内で索の張り替えを要せず、またいわゆる横取りを排除して、ほぼ理想的な単木作業を可能とさせるという利点をもっている。今回の検討は、これら特定の架線系の中での作業索の問題を対象としたが、他の架線系での問題に関連するところもあり、特にⅢ章3.節の部分は、計算手法として、他の架線系における解析にも利用できる場所があると考えられる。計算手順の記述に紙数をさいたゆえんである。

引用文献

- (1)堀 高夫・加藤元之：集材架線におけるエンドレス形式の作業索の張力に関する理論的研究。
日林誌 59：52～58, 1977
- (2) ————：エンドレス索支持型搬器を使用した場合のエンドレス索の緊張度に関する考察。
25回日林中支講：24～29, 1977
- (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) 鈴木正之・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
- (5) —————：—————（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
- (6) —————：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
- (7) —————：—————（II）H型架線設計上の諸問題。日林誌 69：49～58，1987

Summary

The H-type cable crane consists of a skidding cable on which a carriage runs, and guide cables having V-shaped plane figure connected with both ends of the skidding cable and is called "double Y-type" or shortly "H-type" cable crane (Figure.1). 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. The Y-type cable crane has a guide cable connected only with one end, in general on the upper side, of the skidding cable and takes the form of the letter Y as a whole in a plane figure.

In these cable cranes the skidding cable is composed of a track cable and an endless operating line handling a hoisting carriage. At the first part of this paper the auther derived a precise solution acceptable by a digital computer to get the tension and the sag ratio of the operating line, in each running position of the carriage load. The solution was obtained by applying the fixed length condition both of the track cable and the operating line, and the statical equilibrium condition. Secondary, some tendencies of these factors in the position change of the carriage load, caused by the scale of the cable system, the inclination of skidding cable, and so forth, were investigated on the basis of the calculation results. From the examination the mechanical characteristics of these type cable cranes were more clarified.