

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数

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
著者名	沼田,邦彦
発行元	日本林學會
巻/号	55巻12号
巻号補足	
掲載ページ	p. 368-378
発行年月	1973年12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型架線の平衡状態についての研究(I)

(1) 平衡状態における条件式と変数の関係

沼田 邦彦*

Studies on Statically Balanced State of H Type Cable Crane (I)

(1) The Relation between Conditional Functions and
Variables on Statically Balanced State

Kunihiko NUMATA*

Summary: We name it H type Cable Crane as the sky line system looks like the letter H, suspending a sky line over two sky lines used as rails. This cable crane is one of the sky line systems of yarding on a wide area, and will enable planting aside trees to be cut, selection logging as well as yarding, and then will make a new way for cultivation and operation of the forest. We need to make it sure that we can use this cable crane in practical operation. For that purpose, we got catenary curve formulas, with them, led the relation between conditional functions and several variables—coordinate variables and horizontal tension—in the cases of loaded or unloaded balanced state of H type sky line system, and show an example of the process and the result of convergency calculation.

要 旨: 2本の軌道索の間に1本の架空索をかけ、アルファベットの文字Hのように架線の索張りをしたものをH型架線という。H型架線は面状集材の一つの架線形式であるが、この面状集材架線は森林を立体的構成体として利用するための樹下植栽や、単木抜き切り伐木集材作業を可能にし、森林造成や森林作業に新たな道を開くであろう。このような意味でH型架線の実用の可能性を確かめることは必要なことである。ここでは索曲線の関係式を用いてH型索張りの釣合状態の条件式と変数の関係を負荷時と無負荷時に対して求め、おのおの場合の収束計算と計算結果の一例を示した。

1. はじめに

H型架線の発想は数年前に岐阜県の石原林材で現場作業にたずさわっている人々と当林業工学研究室のメンバーとの間で、収穫作業に対する討論を行ったときに具体的な形で提示されたことに始まる。その討論の中で、集材作業としては“森林の地力を維持し、後継樹を傷つけることなく集材する”ということが森林から恒続的に材を供給するために必要であり、それには“たちきのままで単木的に選択されたものを伐木し集材されねばならない”という方向へ方法論的に考察を進め、それを可能ならしめるものとして“三点吊集材架線・H型架線”等の数十種類にも及ぶ集材のための具体的な機械装置が提案され、将来の森林作業に対する夢と理想像を展開したのであった。日本の森林は急峻であり、架線に適した地の利を備えていることを考えると、架線をさらに有効に活用した集材作業を通じて森林を豊かなものに導く可能性

をもち、単に理想的なものとして提案されたアイディアであるH型架線によってその実現を期待すると同時に、H型架線を実用化できるかどうか検討する必要があると思った。

架線による木材運搬法は地形的に優位を占めている日本で特に発達し、収穫作業の主要な部門を担ってきたが、従来の架線形式は線状のものであり、線下の林地は横取り等により作業能率を高めるために勢い皆伐されることになり、その伐採跡地に人工造林され、うっ閉するまでは林木による覆いのない裸地状態で放置される期間を避けることができず、林地生産の利用期間に空白を生じるのみならず、その間に土壤養分の流亡、土砂流出による地力の低下を招くことになっている。そこで架線を線状の形態から面状の形態へ変えることができれば、集材対象範囲は線下に限定された林地から、広い面内の林地へ拡大され、皆伐形態をとらなくとも単木的な選木収穫で十分な作業能率をあげながら林地を常に林木で覆っ

* 京都大学農学部 Fac. of Agr., Kyoto Univ., Kyoto

た状態に維持していくことができるであろう。このように線状架線集材により引き起こされた弊害は面状架線集材の登場により克服され、樹下植栽・単木抜切り集材等の伐木集材作業のあり方の変革が更新と収穫を同時並行して共存させ、森林造成面で森林を複層林に仕立て、よって地力を維持増進させ、林地の生産力を高めるとともに形質の良い林木を育てる施業への新たな道を可能にするであろう。

新しい作業を生み出す面状架線形式については、近年盛んに研究が進められてきている。入江のY型架線¹⁾や片岡の扇形索張りによる“たちき集材”²⁾は2本の索を用いている。そのうちの1本を軌道用の索(軌道索と呼ぶ)とし、その中間に他の索の支点を取り架空索としたものである。また神崎・酒井による三支点架線³⁾は3本の索を1点で結合し、その結合点に荷重をかける形式である。おのおの3本の索長を操作することにより荷重点の移動を図るものであり、同じ3点支持の形式であっても前者とは全く異なったものである。後者の場合、索は作業索として利用されていると同時に架空索の働きも兼ねている。

本論文で対象にしているH型架線は前者の形態に類するものであり、2本の軌道索とその中間に1本の架空索を組み合わせたものである。軌道索を2本用いることにより集材対象林地は軌道索の支点到囲まれた四辺形空間となり、前2者が三角形空間であったのと比較すると一辺増えたに過ぎないが、本質的な相違点は未知なる結合点の数が1つであったものから、H型架線では結合点の数が2つになり、平衡状態における結合点の位置を求めることが一層複雑になっていることである。このようなH型架線形態についての理論的研究はまだ行われていない。

本論文では現実にはH型架線集材が実用化され得るものかどうかを確かめるために、果して各索にかかる張力が安全係数の範囲内にあるかどうか、荷重点の位置が林地より十分必要な高さに保たれるのにはどのような条件でなければならないか、またH型架線の軌道索の4支点的な位置がどのような関係にあっても上記の事柄が成立するのかどうか等の問題を取り扱うことにする。このような問題を解決するために次の要因を取り上げた。

1. 軌道索の支点距離と相対する軌道索支点的距離の関係
2. 軌道索の支点的間傾斜
3. 相対する軌道索支点的間の傾斜
4. 軌道索の索長比
5. 架空索の索長

6 架空索の索張力(または水平張力)

上記の諸要因について無負荷時と負荷時の平衡状態を対応させて各索にかかる張力、軌道索と架空索の2つの結合点および荷重点の位置等の関係を求め、H型架線の平衡状態について研究した。

本報告では索曲線の関係式を用いてH型索張りの釣合状態の条件式と変数の関係を求め、その収束計算と計算結果を示した。なお、ここで取り扱う索は弾性伸長の影響に対しては一切無視されたものである。したがって索の張力に対して、特に負荷時には大きな張力となるが、釣合条件式にはこの点に対する対策をしていないことをつけ加えておく。

2. 釣合条件式

1) 索曲線の関係式^{3,4)}

2支点(A, B)で支えられた索線形の関係式は単位長さ当りの索重量を q_s 、水平張力を H とすると、 $y = (H/q_s) \cosh(q_s/H)x$ で表わされる。さらに水平張力を q_s で除したものを、あらためて H と表示すると、 $y = H \cosh(x/H)$ に単純化される。その場合鉛直分力 V は $V = H \sinh(x/H)$ 、索の張力 T は $T = H \cosh(x/H)$ 、および x が 0 から x までの索長 s_0 は $s_0 = H \sinh(x/H)$ の式で表わされる。

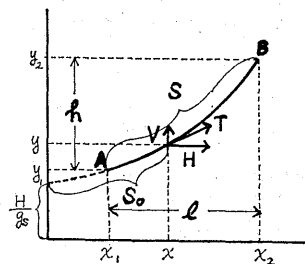


Fig. 1. Points, Lengths and Tensions about a catenary curve on XY coordinates

$x_2 - x_1 = l$, $y_2 - y_1 = h$ とすると x_1 から x_2 までの索長 s は

$$s = H \sinh \frac{x}{H} \Big|_{x_1}^{x_2} = 2H \sinh \frac{l}{2H} \cosh \frac{2x_1 + l}{2H} \quad (1)$$

索曲線の2支点的間の高低差 h は

$$h = H \cosh \frac{x}{H} \Big|_{x_1}^{x_2} = 2H \sinh \frac{l}{2H} \sinh \frac{2x_1 + l}{2H} \quad (2)$$

式(1)と式(2)から $s^2 - h^2 = (2H \sinh(l/2H))^2$ である

ので、索長 s は、

$$s = \sqrt{\left(2H \sinh \frac{l}{2H}\right)^2 + h^2} \quad (3)$$

また式(1)と式(2)から $s+h$ をとると、

$$s+h = 2H \sinh \frac{l}{2H} \exp\left(\frac{2x_1+l}{2H}\right) \quad (4)$$

一方、 $(2H \sinh(l/2H))^2 = (s+h)(s-h)$ であるから式(4)はさらに変形され、

$$\exp\left(\frac{2x_1+l}{2H}\right) = \sqrt{\frac{s+h}{s-h}}$$

この式から、

$$x_1 = H \log \sqrt{\frac{s+h}{s-h}} - \frac{l}{2} \quad (5)$$

式(5)より索の支点位置を索曲線上の x 座標で表わすことができる。式(3)から索長 s は H, l, h で与えられるので、結局索曲線の関係は H, l, h の3変数で求めることができる。

2) H型索張り架線の釣合条件

H型索張りは図-2のごとく4支点 $1A_1$ ($1A_{11}, 1A_{12}, 1A_{13}$), $1A_2$ ($1A_{21}, 1A_{22}, 1A_{23}$), $2A_1$ ($2A_{11}, 2A_{12}, 2A_{13}$), $2A_2$ ($2A_{21}, 2A_{22}, 2A_{23}$) で索を支持する。 $1A_1$ と $1A_2$ および $2A_1$ と $2A_2$ の各2点間に軌道索を張り、おのおのの軌道索 $1A_1-1A_2$ (軌道索(A)と呼ぶ) および $2A_1-2A_2$ (軌道索(B)と呼ぶ) 上の中間に結合点 $1P_0$ ($1P_{01}, 1P_{02}, 1P_{03}$), $2P_0$ ($2P_{01}, 2P_{02}, 2P_{03}$) を取り架空索を張る(結合点 $1P_0, 2P_0$ をそれぞれ結合点(A), 結合点(B)と呼ぶ)。そして架空索の中間に荷重点 $1A_3$ ($1A_{31}, 1A_{32}, 1A_{33}$) $\equiv 2A_3$ ($2A_{31}, 2A_{32}, 2A_{33}$) (以下 $1A_3$ で代表できる場合は $2A_3$ を省略する) に搬器をかけ木材を集材する。このように想定したものをH型索張りと呼ぶことにする。

まず、架空索に負荷のある場合の釣合条件から求める。

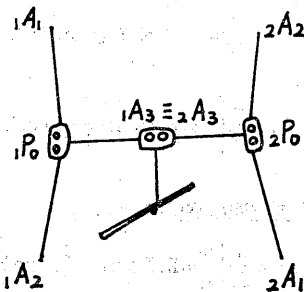


Fig. 2. Coordinate Points of H-type skyline system

xy -水平面上の線分 $\overline{1A_j-1P_0}$ ($i=1, 2; j=1, 2, 3$) は、

$$L_{ij} = \overline{1A_j-1P_0} = \sqrt{\sum_{k=1}^2 (1A_{jk} - 1P_{0k})^2}$$

xy -平面上の $1P_0$ 点から $1A_j$ 点へ方向余弦は、
 $l_{ijk} = (1A_{jk} - 1P_{0k}) / L_{ij}$ ($k=1, 2$)

$1A_j$ 点と $1P_0$ 点との高低差は、

$$h_{ij} = 1A_{j3} - 1P_{03}$$

結合点 $1P_0$ の釣合状態を与える水平張力を H_{ij} とすると、 xy -平面の釣合より、

$$\sum_{j=1}^3 H_{ij} \cdot l_{ijk} = 0 \quad (i=1, 2; k=1, 2)$$

架空索の水平張力を H とすると $H_{13} = H_{23} = H$ であるから各軌道索の水平張力は、

$$H_{i1} = H \cdot \begin{vmatrix} l_{i31} & l_{i21} \\ l_{i32} & l_{i22} \end{vmatrix} / \begin{vmatrix} l_{i11} & l_{i21} \\ l_{i12} & l_{i22} \end{vmatrix}$$

$$H_{i2} = H \cdot \begin{vmatrix} l_{i11} & l_{i31} \\ l_{i12} & l_{i32} \end{vmatrix} / \begin{vmatrix} l_{i11} & l_{i21} \\ l_{i12} & l_{i22} \end{vmatrix}$$

各索長は式(3)より、

$$S_{ij} = \sqrt{\left\{2H_{ij} \sinh \frac{L_{ij}}{2H_{ij}}\right\}^2 + h_{ij}^2}$$

各索の垂曲線上の両端点の位置を表わすために左側の点を1、右側の点を2として変数の右上肩に記号を付して区別する。垂曲線上の左側の支点位置は式(5)より、

$$x_{ij}^1 = H_{ij} \log \sqrt{\frac{S_{ij} + h_{ij}}{S_{ij} - h_{ij}}} - \frac{L_{ij}}{2}$$

同様に右側の支点位置は、

$$x_{ij}^2 = x_{ij}^1 + L_{ij}$$

左側支点の垂直分力は、

$$V_{ij}^1 = H_{ij} \sinh \frac{x_{ij}^1}{H_{ij}}$$

結合点 $1P_0$ の鉛直方向の釣合は、

$$\sum_{j=1}^2 V_{ij}^1 - V_{i3}^1 = 0 \quad (i=1, 2) \quad (6)$$

荷重点 $1A_3$ の釣合は、

$$\sum_{i=1}^2 V_{i3}^2 = W_{KAJU} \quad (7)$$

ただし、 $V_{i3}^2 = H \sinh \frac{x_{i3}^2}{H}$ である。

各索の支点張力は、

$$T_{ij} = H_{ij} \cosh \frac{x_{ij}^2}{H_{ij}} \quad (i=1, 2; j=1, 2)$$

$$T_{i3} = H \cosh \frac{x_{i3}^1}{H} \quad (i=1, 2)$$

以上の結果各支点の座標点 $1A_1, 1A_2, 2A_1, 2A_2$ が与えられれば、式(6)および式(7)の3条件を満たす荷重点と2つの結合点を求めれば、H型索張りの釣合が成立する。しかし、この3条件だけでは集材用として利用する場合におおのの索長が定まらないため現実的対応ができない。そこで索長を制約条件として入れる必要がある。

$$\sum_{j=1}^2 S_{ij} = S_i \text{ const} \quad (i=1, 2) \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^2 S_{i3} = S_3 \text{ const} \quad (9)$$

釣合条件は式(6)および式(7)の鉛直方向の釣合と式(8)および式(9)の索長の制約の合計6条件となる。座標関係の変数については結合点の y 座標 $iP_{02} (i=1, 2)$ 、荷重点の x, y 座標 $1A_{3k} (k=1, 2)$ の4変数は xy -平面の一直線上にあるから、直線関係をあらかじめ設定することができる。したがって求めるべき変数は結合点の x, z 座標 iP_{01} および $iP_{03} (i=1, 2)$ と荷重点の z 座標 $1A_{33}$ 、架空索の水平張力 H の6変数である。

次に無負荷の場合の釣合条件を求める。無負荷の場合は荷重点 $1A_3$ がなく、荷重 $WKAJU$ もかからない。したがって負荷の場合に結合点(A)に関する釣合の際の荷重点 $1A_3$ を結合点(B)に、また結合点(B)に関する釣合の際の荷重点 $2A_3$ を結合点(A)に置き替えることにより釣合条件が得られる。釣合条件は式(6)の鉛直方向の2条件と式(8)および式(9)の索長の3制約条件の合計5条件となる。求めるべき変数は iP_{01} および $iP_{03} (i=1, 2)$ と H の5変数である。

ところで無負荷の場合は架空索の水平張力 H を一定とし、制約条件の中の架空索の索長に関する式(9)を省略することにより、架空索の水平張力 H に対応した架空索の索長の関係が得られる。この場合の条件式は式(6)の鉛直方向の2条件と式(8)の索長の2条件の合計4条件となり、求めるべき変数は結合点の座標 iP_{01} および $iP_{03} (i=1, 2)$ の4変数である。

3) 平衡状態の計算

軌道索の4支点 $1A_j (i=1, 2; j=1, 2)$ 内に囲まれた空間でH型架線の結合点 $iP_0 (i=1, 2)$ 、荷重点 $1A_3$ の釣合位置と各索の張力等の関係を求めるために、図-3のごとく軌道索の xy -平面における線分 $1A_1A_2 (i=1, 2)$ を n 等分し、その等分点上に架空索を移動し、さらに架空索の xy -平面における線分 $1P_0'2P_0'$ を m 等分し、その等分点上に荷重点を移動する場合を想定する。

また無負荷の場合には荷重点が存在しないから架空索

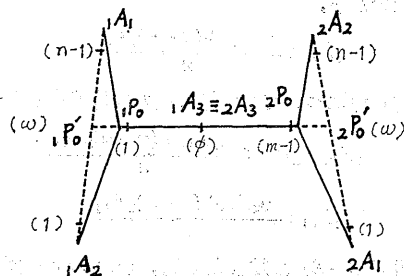


Fig. 3. The ω th point of n equal parts on each distance $1A_1 1A_2$ or $2A_1 2A_2$ of rail line suspended a sky line and The ϕ th point of m equal parts on the distance $1P_0' 2P_0'$ of the sky line hanged up a weight

を、 xy -平面における軌道索の n 等分点に移動した場合を想定する。

(i) 負荷の場合

荷重点 $1A_3$ の x, y 座標は、軌道索上の第 ω 番目 ($\omega=1, 2, \dots, n-1$)、架空索上の第 ϕ 番目 ($\phi=1, 2, \dots, m-1$) の位置に荷重があるとき

$$1A_{31} = \frac{\omega_1 A_{11} + (n-\omega) 1A_{21}}{n} + \frac{\phi}{m} \cdot \frac{\omega(2A_{21} - 1A_{11}) + (n-\omega)(2A_{11} - 1A_{21})}{n}$$

$$1A_{32} = \frac{\omega_1 A_{12} + (n-\omega) 1A_{22}}{n} + \frac{\omega(2A_{22} - 1A_{12}) + (n-\omega)(2A_{12} - 1A_{22})}{\omega(2A_{21} - 1A_{11}) + (n-\omega)(2A_{11} - 1A_{21})} \cdot \left\{ 1A_{31} - \frac{\omega_1 A_{11} + (n-\omega) 1A_{21}}{n} \right\}$$

である。

結合点の y 座標は線分 $1P_0'2P_0'$ 上の点の y 座標であるから、荷重点の y 座標 $1A_{32}$ を求めたときと同様に、 $1A_{32}$ を与える式の $1A_{31}$ に結合点の x 座標 iP_{01} を代入することにより iP_{02} を求めることができる。変数は結合点の x, z 座標 $iP_{0k} (i=1, 2; k=1, 3)$ 、荷重点の z 座標 $1A_{33}$ 、架空索の水平張力 H であり、これらの変数には次の制限がある。

結合点(A)は線分 $1A_{11}A_2$ より右側に、荷重点より左側になければならないから、

$$\frac{\omega_1 A_{11} + (n-\omega) 1A_{21}}{n} < 1P_{01} < 1A_{31}$$

結合点(A)の z 座標は線分 $1A_{11}A_2$ より下側になければ

ばならないから、

$${}_1P_{03} < \frac{\omega_1 A_{13} + (n - \omega)_1 A_{23}}{n}$$

結合点(B)についても同様に次の条件が成り立つ。

$${}_2A_{31} < {}_2P_{01} < \frac{\omega_2 A_{21} + (n - \omega)_2 A_{11}}{n}$$

$${}_2P_{03} < \frac{\omega_2 A_{23} + (n - \omega)_2 A_{13}}{n}$$

また荷重点 ${}_1A_3$ は結合点 (A), (B) の z 座標の大きいものより上側に位置してはならないから、

$${}_1A_{33} < \text{MAX}({}_1P_{03}, {}_2P_{03})$$

の条件があり、さらに索曲線の x 座標と水平張力の関係より、

$$|x_{43}^1| \cdot \text{AND} \cdot |x_{43}^2| \leq 1.2H$$

の条件が成立しなければならない³⁾。

条件式 (6), (7) と (8), (9) について, $(V_{13}^1 - \sum_{j=1}^2 V_{1j}^1)$ を VV_1 , $(V_{23}^1 - \sum_{j=1}^2 V_{2j}^1)$ を VV_2 , $(\sum_{i=1}^2 V_{43}^2 - W_{KAJU})$ を VV_3 , $(\sum_{j=1}^2 S_{1j} - S_1 \text{const})$ を SS_1 , $(\sum_{j=1}^2 S_{2j} - S_2 \text{const})$ を SS_2 , $(\sum_{i=1}^2 S_{43} - S_3 \text{const})$ を SS_3 と置くと、結合点(A)に対して、

$$SS_1 = \sum_{j=1}^2 S_{1j} - S_1 \text{const} \quad (10)$$

$$VV_1 = V_{13}^1 - \sum_{j=1}^2 V_{1j}^1 \quad (11)$$

の関係より, SS_1 と VV_1 を 0 に近づければ結合点(A)の釣合位置の精度が高くなることになる。式(10)と変数 ${}_1P_{01}$, ${}_1P_{03}$ の関係は, $SS_1 > 0$ のときは $\sum_{j=1}^2 S_{1j}$ を減少させればよいから, ${}_1P_{01}$ を減少, ${}_1P_{03}$ を増加させる必要がある。また $SS_1 < 0$ のときは $\sum_{j=1}^2 S_{1j}$ を増加させればよいから, ${}_1P_{01}$ を増加, ${}_1P_{03}$ を減少させる必要がある。式(11)と変数 ${}_1P_{01}$, ${}_1P_{03}$ の関係をみる場合に、架空索の水平張力 H と荷重点の z 座標 ${}_1A_{33}$ を一定と考えると, $VV_1 > 0$ のときは V_{13}^1 を減少, $\sum_{j=1}^2 V_{1j}^1$ を増加させればよいが、まず V_{13}^1 については V_{13}^1 を減少させるために ${}_1P_{01}$ を減少, ${}_1P_{03}$ を減少の方向へ, $\sum_{j=1}^2 V_{1j}^1$ については $\sum_{j=1}^2 V_{1j}^1$ を増加させるために ${}_1P_{01}$ を減少, ${}_1P_{03}$ を減少の方向へ移動させればよい。軌道索の張りが大きくなれば V_{13}^1 の変化より $\sum_{j=1}^2 V_{1j}^1$ の変化の方が遙かに大きくなるが、いずれにしても $VV_1 > 0$ のときは ${}_1P_{01}$, ${}_1P_{03}$ を共に減少すればよい。 $VV_1 < 0$ のときは逆の関係にあるから, ${}_1P_{01}$, ${}_1P_{03}$ をともに増加すればよい。 SS_1 と VV_1 の符号と変数 ${}_1P_{01}$, ${}_1P_{03}$ の増減量 $\Delta {}_1P_{01}$, $\Delta {}_1P_{03}$ の関係を表-1 に示した。この関係から SS_1 と VV_1 の絶対値を変数 ${}_1P_{01}$ と ${}_1P_{03}$ によって小さくすることができる。

他の結合点 (B) に対しては結合点 (A) の場合と同様に、

Table 1. Signs of SS_1 (function about the length of sky line as a rail ${}_1A_1$, ${}_1A_2$) and VV_1 (function about the vertical tension on the point ${}_1P_0$) and Increase or Decrease about variables ${}_1P_{01}$ and ${}_1P_{03}$

	$\Delta {}_1P_{01}$	$\Delta {}_1P_{03}$		$\Delta {}_1P_{01}$	$\Delta {}_1P_{03}$		$\Delta {}_1P_{01}$	$\Delta {}_1P_{03}$		$\Delta {}_1P_{01}$	$\Delta {}_1P_{03}$
$SS_1 > 0$	-	+	> 0	-	+	< 0	+	-	< 0	+	-
$VV_1 > 0$	-	-	< 0	+	+	> 0	-	-	< 0	+	+
	-	/		/	+		/	-		+	/

Table 2. Signs of SS_2 (function about the length of sky line as a rail ${}_2A_1$, ${}_2A_2$) and VV_2 (function about the vertical tension on the point ${}_2P_0$) and Increase or Decrease about variables ${}_2P_{01}$ and ${}_2P_{03}$

	$\Delta {}_2P_{01}$	$\Delta {}_2P_{03}$		$\Delta {}_2P_{01}$	$\Delta {}_2P_{03}$		$\Delta {}_2P_{01}$	$\Delta {}_2P_{03}$		$\Delta {}_2P_{01}$	$\Delta {}_2P_{03}$
$SS_2 > 0$	+	+	> 0	+	+	< 0	-	-	< 0	-	-
$VV_2 > 0$	+	-	< 0	-	+	> 0	+	-	< 0	-	+
	+	/		/	+		/	-		-	/

Table 3. Signs of SS_3 (function about the length of sky line ${}_1P_0 {}_2P_0$) and VV_3 (function about the vertical tension on the point ${}_1A_3 \equiv {}_2A_3$) and Increase or Decrease about variables ${}_1A_{33} \equiv {}_2A_{33}$ and H

	${}_1A_{33}$	ΔH		${}_1A_{33}$	ΔH		${}_1A_{33}$	ΔH		${}_1A_{33}$	ΔH
$SS_3 > 0$	+	+	> 0	+	+	< 0	-	-	< 0	-	-
$VV_3 > 0$	+	-	< 0	-	+	> 0	+	-	< 0	-	+
	+	/		/	+		/	-		-	/

$$SS_2 = \sum_{j=1}^2 S_{2j} - S_2 \text{ const} \quad (12)$$

$$VV_2 = V_{23}^1 - \sum_{j=1}^2 V_{2j}^1 \quad (13)$$

の関係より, SS_2 と VV_2 の符号と変数 ${}_2P_{01}$ と ${}_2P_{03}$ の増減量 $\Delta {}_2P_{01}$, $\Delta {}_2P_{03}$ との関係を 表-2 に示した。

また架空索と荷重点との間には,

$$SS_3 = \sum_{i=1}^2 S_{i3} - S_3 \text{ const} \quad (14)$$

$$VV_3 = \sum_{i=1}^2 V_{i3}^2 - W_{KAJU} \quad (15)$$

の関係がある。架空索の長さ $\sum_{i=1}^2 S_{i3}$ と荷重点の鉛直分

力 $\sum_{i=1}^2 V_{i3}^2$ は結合点 (A), (B) と荷重点 ${}_1A_3$ の 3 点に關係しているが, 結合点の条件式である式(10)~(13)を平衡状態へ誘導する変数として ${}_iP_{0k} (i=1, 2; k=1, 3)$ を用いるために, 式(10)~(13)の条件下で架空索と荷重点との釣合を荷重点の z 座標 ${}_1A_{33}$ と架空索の水平張力 H との 2 変数で調整することにした。その場合 SS_3 と VV_3 の符号と変数 ${}_1A_{33}$ ならびに H の増減量 $\Delta {}_1A_{33}$ と ΔH との間の関係は 表-3 に示したとおりである。

式(10)~(15)の 6 条件は相互に影響し合っているため, 変数操作の途中でいくつかの条件式についてはある範囲以上に小さくしえない領域に変数が入ってしまう。そこで変数の増減量がある値より小さくなった場合に, 再び変数の現在値にある幅をもたせて最大と最小の変動範囲を設定する。そして条件式と変数との間で, ある精度に達したものはそこで中止し, 残りのものは更に変数操作を継続し, もしその途中で以前にある精度で条件式を満たしていたものがその精度から飛び出せばその時点から変数操作を再び行う。そしてすべての条件がある精度 (例えば, $VV_i < 1.0$, $SS_i < 0.1$) のもとで満たされたときに, H型の各索間に釣合条件が満足されたものとする。

変数 ${}_iP_{0k}$ を例にとって示すと以下のごとくである。変数操作の $n+1$ 回目の変数の増減量 $\Delta ({}_iP_{0k})_{n+1}$ は n 回目の変数の最大 $\max ({}_iP_{0k})_n$ と最小 $\min ({}_iP_{0k})_n$ により与えられる。

$$\Delta ({}_iP_{0k})_{n+1} = \frac{\max ({}_iP_{0k})_n - \min ({}_iP_{0k})_n}{2},$$

$n+1$ 回目の変数の値 $({}_iP_{0k})_{n+1}$ は,

$$({}_iP_{0k})_{n+1} = \max ({}_iP_{0k})_n - \Delta ({}_iP_{0k})_{n+1}$$

で与えられる。この手順を繰り返して, m 回目に変数の増減量 $\Delta ({}_iP_{0k})_m$ が非常に小さな値になれば変数操作によって条件関係に影響を与えなくなるので, 初期に設定された値 δ_1 より小さくなれば ($\Delta ({}_iP_{0k})_m < \delta_1$), 変数の最大, 最小を与え直す必要がある。その最大, 最小の変動幅を d_1 とし, 変数の現在値 $({}_iP_{0k})_m$ より $\pm d_1$ だけ探索範囲を広げると次のごとくなる。

$$\max ({}_iP_{0k})_{m+1} = ({}_iP_{0k})_m + d_1,$$

$$\min ({}_iP_{0k})_{m+1} = ({}_iP_{0k})_m - d_1$$

このような手続きを繰り返し, l 回目に索長に関する条件式 $|SS_i| (i=1, 2, 3)$ が精度 ϵ_1 より小さくなったとき ($|SS_i| < \epsilon_1$), 変数の増減量 $\Delta ({}_iP_{0k})_l$ の最小限界値 δ_1 から $\delta_2 (\delta_2 < \delta_1)$ に, 変数の最大, 最小の変動幅を d_1 から $d_2 (d_2 < d_1)$ に, 索長に関する条件式 $|SS_i|$ の精度を ϵ_1 から $\epsilon_2 (\epsilon_2 < \epsilon_1)$ に改め, 段階的に探索範囲を小さくしぼっていく。一方, 結合点 (A), (B) と荷重点のいずれかの点で $|SS_i| < \epsilon_0$, $|VV_i| < \epsilon_0' (i \text{ は } 1, 2, 3; \epsilon_0, \epsilon_0' \text{ は求めるべき条件式の最終精度とする})$ を満たせば, その点に関する変数操作を中止し, 他の点に関して精度 ϵ_0, ϵ_0' を満たすまで変数操作を継続する。そして, もし他の点の変数操作の途中で, すでに最終精度 $\epsilon_0 (=0.1)$, $\epsilon_0' (=1.0)$ に達していた点に影響し, その精度を飛び出すことがあれば, 再びその点に関しても変数操作を開始し, 徐々に高い精度へ誘導し, 条件式のすべてが $|SS_i| < \epsilon_0$, $|VV_i| < \epsilon_0' (i=1, 2, 3)$ を満たしたときに釣合状態が成立したものとする。

水平張力 H に関しては微小な座標変数の変化であっても、張力関係に大きい変動を与えるため、張力の増減量 ΔH の最小限界値 δ_0 、最大、最小の探索範囲 d_0 を段階的に縮小せず、一定とし、張力の大きい変化に即応できるようにしておく。

(ii) 無負荷の場合

無負荷の場合には負荷の場合の荷重点 ${}_1A_3$ を省略した状態になる。したがって $(SS_1, VV_1) = ({}_1P_{01}, {}_1P_{03})$, $(SS_2, VV_2) = ({}_2P_{01}, {}_2P_{03})$, $(SS_3) = (H)$ の対応関係が成立し、式(10)~(14)で示される5条件に対して ${}_1A_3$ 点を ${}_2P_0$ 点に、 ${}_2A_3$ 点を ${}_1P_0$ 点に入れ替えることにより無負荷時の釣合状態を計算することができる。

ここで、 $(SS_3) = (H)$ の対応関係について架空索の索長を一定にするか、または一定索張力にするかにより、 $S_3 \text{ const}$ または $T_{i3} \text{ const}$ のいずれかを H に対する制約条件として選ぶことができる。 $T_{i3} \text{ const}$ を選ぶ場合は変数操作は $S_3 \text{ const}$ の場合の逆の関係になる。

ところで一定張力で張り上げる場合に $T_{i3} \text{ const}$ と H の関係において H を与えることにより $T_{i3} \text{ const}$ が求められるので、 H を一定にした H 型索張りの釣合状態から、逆に $T_{i3} \text{ const}$, $S_3 \text{ const}$ を決定することができる。H 型索張りについては地形的制限のため、H 型索張りの全空間で架空索の索長を一定にして利用することは不可能であるから、無負荷時の張力 T_{ij} が適当な値になる $\sum_{i=1}^2 S_{i3}$ を求め、その索長を $S_3 \text{ const}$ として用い、

荷重をかけた場合の釣合状態を求めるほうが現実的であると思う。このような理由により無負荷の場合の釣合状態の諸関係を算定するには $(SS_1, VV_1) = ({}_1P_{01}, {}_1P_{03})$, $(SS_2, VV_2) = ({}_2P_{01}, {}_2P_{03})$, $(H = \text{const})$ という単純化された対応関係を利用したほうが便利である。

3. 釣合状態の一例

以下の数値で距離関係はメートル単位、張力関係は単位長さ当りの索重量 $g_s \text{ kg/m}$ で割ったものを用いることにする。

無負荷時の $(SS_1, VV_1) = ({}_1P_{01}, {}_1P_{03})$, $(SS_2, VV_2) = ({}_2P_{01}, {}_2P_{03})$, $(H = \text{const})$ の対応関係に対する上記の方法による計算経過について例示する。軌道索の各支点の座標を ${}_1A_1$ (50, 300, 400), ${}_1A_2$ (10, 100, 300), ${}_2A_1$ (700, 10, 250), ${}_2A_2$ (600, 250, 300), 架空索の水平張力 H を 1,500(m) (水平張力は $1,500 \times g_s \text{ kg}$), 軌道索の索長比 α_A が 1.10 で、軌道索支点間の10等分点中の $\omega=1$ に架空索が移動した場合の釣合状態に対する計算経過の収束状況を表-4 に示した。

また無負荷時の $S_3 \text{ const}$ の場合と $H = \text{const}$ の場合の釣合状態ならびに負荷時の釣合状態の諸関係を例示しよう。軌道索の各支点の xy 平面の関係は長方形でその時の軌道索の支点距離と相対する軌道索支点の距離の比が1対3、さらに z 方向に対して軌道索支点間傾斜を10%にした場合の軌道索の支点座標 ${}_1A_1$ (10, 296.7,

Table 4. The process of convergency calculation in the case of unloaded statically balanced state (omitted every other number of times)

Number of times	${}_1P_{01}$	${}_1P_{03}$	${}_2P_{01}$	${}_2P_{03}$	SS_1	SS_2	VV_1	VV_2
1	177.5	154.5	514.5	127.0	315.537	219.399	-964.703	-799.083
3	177.5	270.375	514.5	222.25	201.945	139.387	238.659	-111.624
5	96.25	289.687	601.75	238.125	65.0803	30.6374	211.297	-22.6296
7	55.625	299.344	645.375	246.063	9.56903	-6.34436	189.874	7.26778
9	45.4687	299.344	623.562	242.094	-0.875464	10.6202	59.1187	5.08438
11	45.4687	296.930	634.469	244.078	0.411768	1.73682	-59.471	16.7947
13	45.4687	297.533	637.195	244.078	0.074548	-0.195922	-29.173	1.29487
15								
17	50.5469	297.835	637.195	243.582	4.9747	-0.026244	68.2586	-18.3781
19								
21	46.7383	297.835	635.832	243.830	1.14849	0.84839	8.98416	-0.625076
23	46.1035	297.986	636.514	243.954	0.446283	0.324647	5.28516	-0.414818
25	45.7861	298.061	636.854	244.016	0.0970096	0.0640267	3.26952	-0.314117
27								
29	45.6274	298.061	636.854	244.016	-0.0570432	0.0640267	0.388168	-0.196655

H FORCE (m) 1500.0

${}_1P_0 {}_2P_0$ LINE (m) 602.349

${}_1P_{01}$ 45.627

${}_2P_{01}$ 636.854

${}_1A_1 {}_1A_2$ LINE (m) 249.815

${}_1P_{02}$ 115.976

${}_2P_{02}$ 40.761

${}_2A_1 {}_2A_2$ LINE (m) 291.304

${}_1P_{03}$ 298.061

${}_2P_{03}$ 244.016

T_{11} FORCE (m) 1046.1

T_{12} FORCE (m) 1656.4

T_{21} FORCE (m) 1779.7

T_{22} FORCE (m) 652.8

T_{13} FORCE (m) 1562.9

T_{23} FORCE (m) 1508.9

${}_1P_0 {}_2P_0$ KYORI (m) 598.438

${}_1P_0 {}_2P_0$ SAKUCHOHI 1.00654

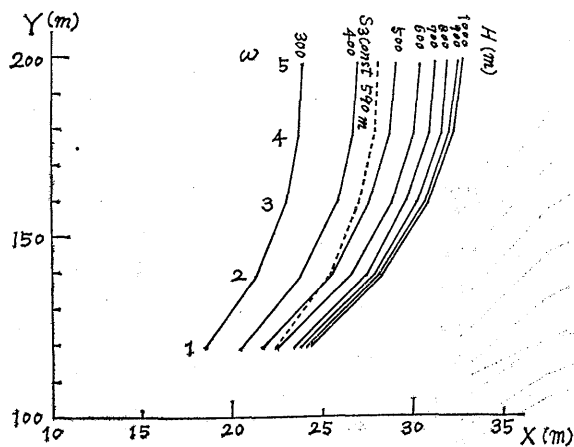


Fig. 4. Each balanced point on XY plane about point $1P_0$ ($H=300\sim1,000$ m, S_3 const=590m, $\omega=1\sim5$, unloaded)

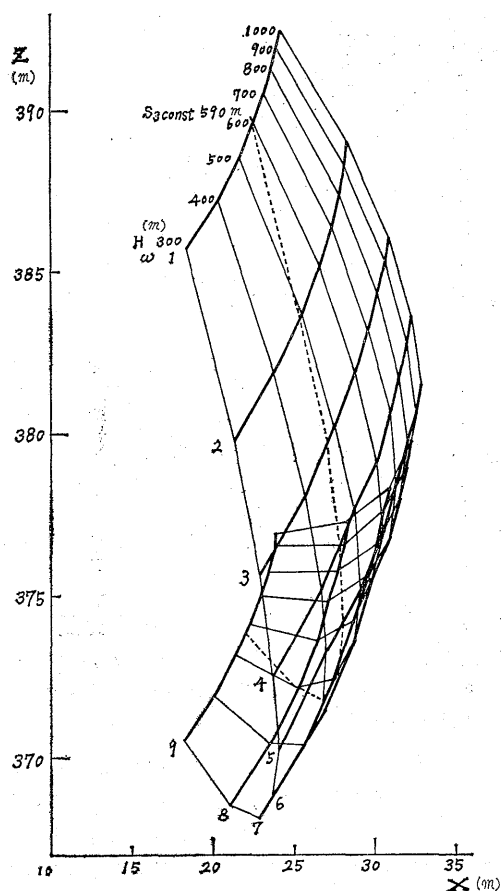


Fig. 5. Each balanced point on XZ plane about point $1P_0$ ($H=300\sim1,000$ m, S_3 const=590 m, $\omega=1\sim9$, unloaded)

380.3), $1A_2$ (10, 100, 400), $2A_1$ (600, 100, 400), $2A_2$ (600, 296.7, 380.3) とし, 軌道索の索長比 $\alpha_A=1.03$, 索の水平張力一定 ($H=300\sim1,000$ m まで 100 刻み) の場合について示す。なお索長一定 (S_3 const 590 m) の場合についても図中の点線で示した。

図-4 は結合点 (A) の XY 面における釣合位置を示し, $\omega=5$ を境に同様の曲線を描くが, $\omega=1$ より $\omega=9$ の下方支点側のほうが X 座標の小さいほうへずれてくる。図-5 は結合点 (A) の XZ 面における釣合位置を示した。結合点 (B) は (A) と対称関係にあるので省略し

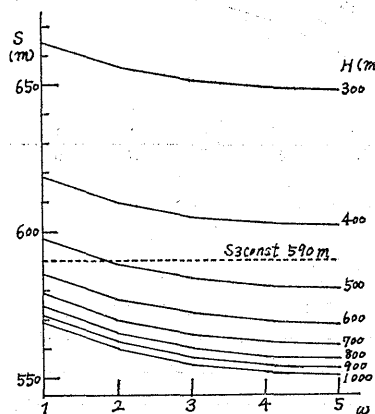


Fig. 6. The ratio of line length to distance of sky line ($H=300\sim1,000$ m, S_3 const=590m, $\omega=1\sim5$, unloaded)

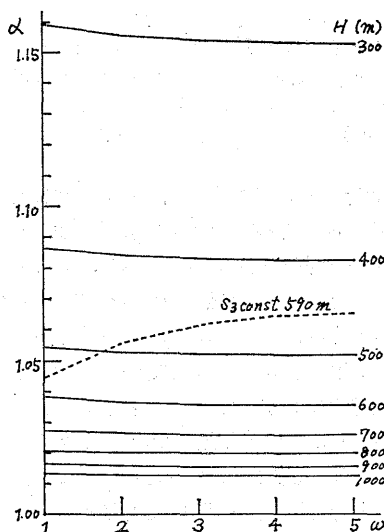


Fig. 7. The line length of sky line ($H=300\sim1,000$ m, S_3 const=590 m, $\omega=1\sim5$, unloaded)

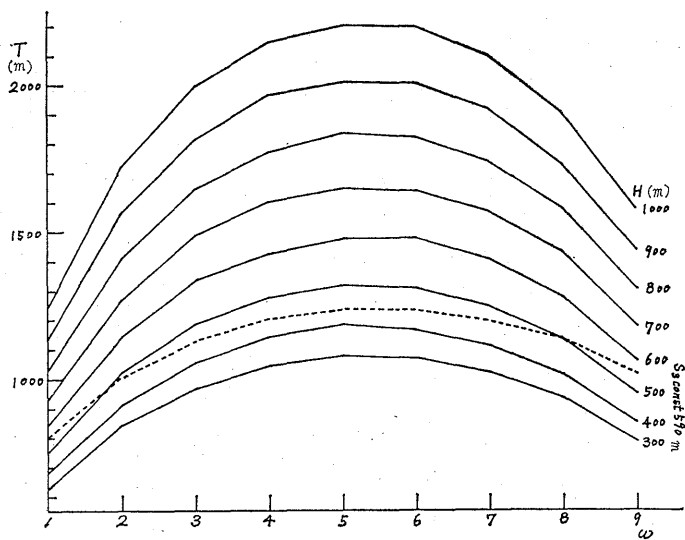


Fig. 8. Tension $T_{11}=T_{22}$ on the suspending points $1A_1$ and $2A_2$ ($H=300\sim 1,000$ m, S_3 const= 590 m, $\omega=1\sim 9$, unloaded)

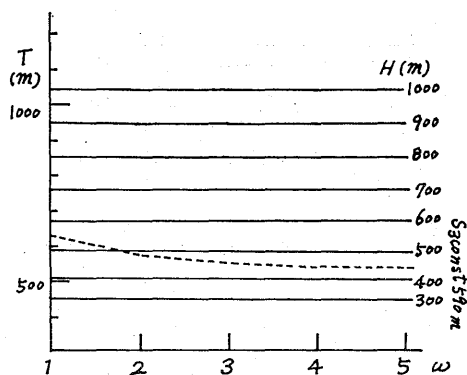


Fig. 9. Tension $T_{13}=T_{23}$ on the suspending points $1P_0$ and $2P_0$ of sky line ($H=300\sim 1,000$ m, S_3 const= 590 m, $\omega=1\sim 9$, unloaded)

た。図-6 は架空索の索長を示し、 $\omega=5$ を境に同様の関係にあるが、下方支点の $\omega=9$ 側で索長は少し長くなってくる。図-7 は架空索の索長比を示し、索長の場合と同様に $\omega=5$ を境に下方支点の $\omega=9$ 側で索長比は少し大きくなっていく。図-8 は軌道索の下方支点 $1A_1$ と $2A_2$ にかかる張力を示し、最大張力は ω の 5 と 6 の間にある。軌道索の上方支点 $1A_2$ と $2A_2$ にかかる張力については省略したが、下方支点にかかる張力より大きいほうにずれ、最大張力は ω の 4 と 5 の間にあり、 ω に対して逆の曲線を描く。図-9 は架空索の結合点 (A) における張力を示した。

次に上記と同じ軌道索の支点位置をとり、負荷 $W_{KAJU}=1,400$ (m) (荷重量は $1,400 \times g_s$ kg)、架空索の

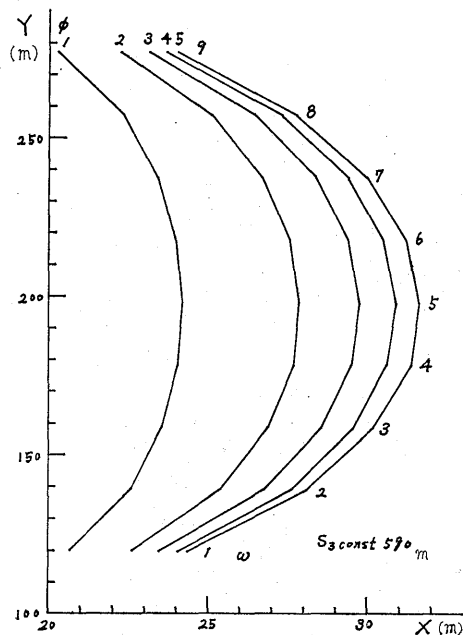


Fig. 10. Each balanced point on XY plane about point $1P_0$ (Weight= $1,400$ m, S_3 const= 590 m, $\omega=1\sim 9$, $\phi=1\sim 5$)

索長一定 (S_3 const 590 m) の場合に架空索を $\omega=1$ から 9 まで軌道索上を移動させ、荷重点を $\phi=1$ から 5 まで架空索上を移動させた場合における諸関係を示す。 $\phi=6$ から 9 は $\phi=1$ から 4 と対称の位置関係にあるので省略した。

図-10 は結合点 (A) の XY 面における釣合位置、図-11 は結合点 (B) の XY 面における釣合位置、図-12 は

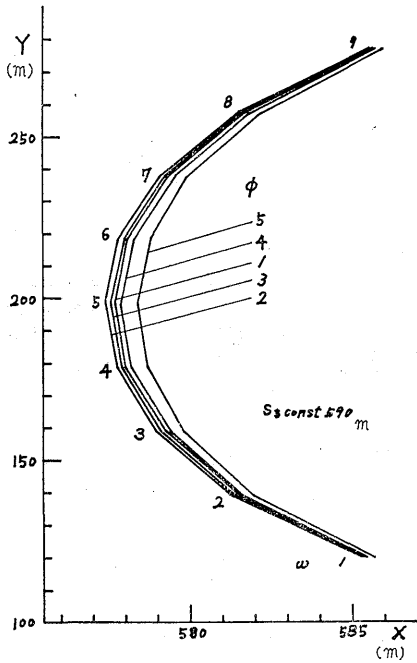


Fig. 11. Each balanced point on XY plane about point ${}_2P_0$ (Weight = 1,400 m, S_3 const = 590 m, $\omega = 1 \sim 9$, $\phi = 1 \sim 5$)

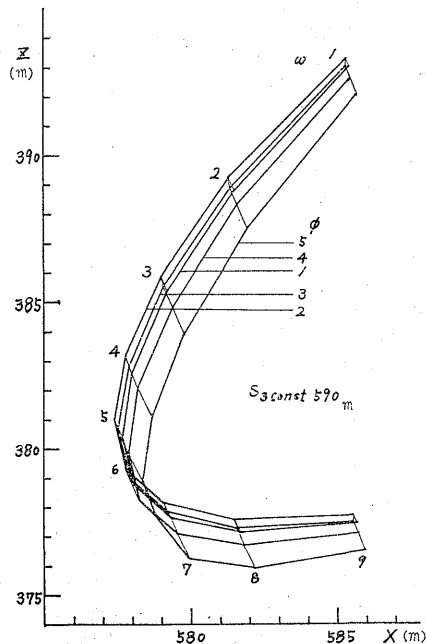


Fig. 13. Each balanced point on XZ plane about point ${}_2P_0$ (Weight = 1,400 m, S_3 const = 590 m, $\omega = 1 \sim 9$, $\phi = 1 \sim 5$)

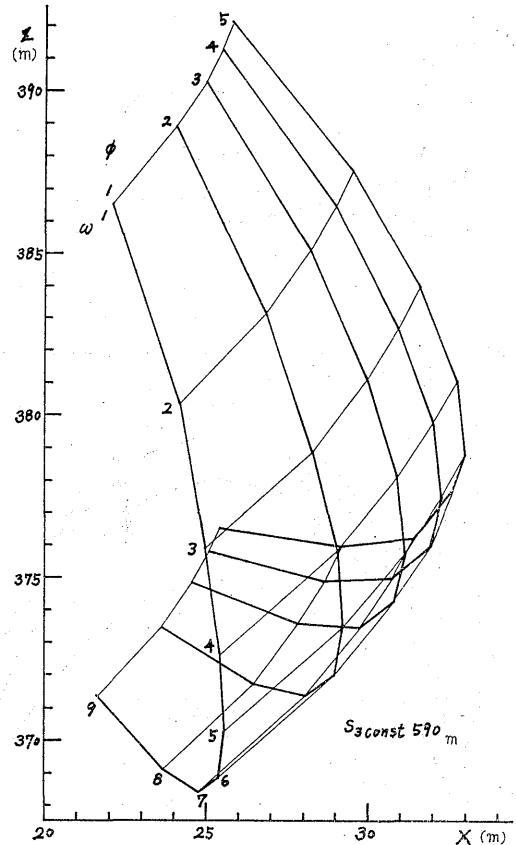


Fig. 12. Each balanced point on XZ plane about point ${}_1P_0$ (Weight = 1,400 m, S_3 const = 590 m, $\omega = 1 \sim 9$, $\phi = 1 \sim 5$)

結合点(A)の XZ 面における釣合位置, 図-13 は結合 (B)の XZ 面における釣合位置, 図-14 は荷重点の Z 座標の釣合位置, 図-15 は架空索の索長比, 図-16 は各索の支点における索張力を示した。

参考文献

- 1) 入江敏博: Y型架線の張力計算法. 日林誌 46: 1~8, 1964
- 2) 片岡秀夫: たちき集材法に関する研究. 日林誌 47: 406~410, 1965, 日林誌 48: 180~182, 1966, 日林誌 48: 372~375, 1966
- 3) 神崎康一・酒井徹朗: 3支点集材架線についての研究 (I) 静的つり合い状態における計算法. 日林誌 54: 103~112, 1972
- 4) 吉名孝太郎: 架空索道計算法. 6~12, 興学館, 東京, 1939

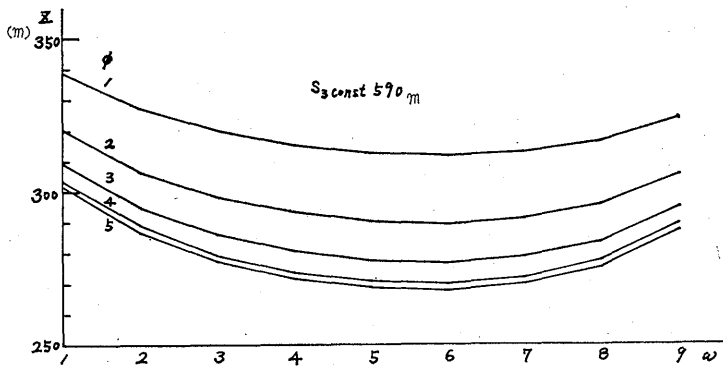


Fig. 14. Each Z coordinate value about loaded point $1A_3$ (Weight=1,400 m, S_3 const =590 m, $\omega=1\sim 9$, $\phi=1\sim 5$)

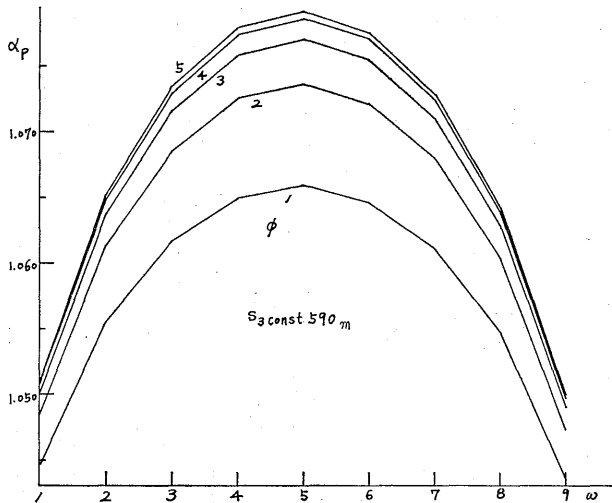


Fig. 15. The ratio of line length to distance of sky line (Weight=1,400 m, S_3 const=590 m, $\omega=1\sim 9$, $\phi=1\sim 5$)

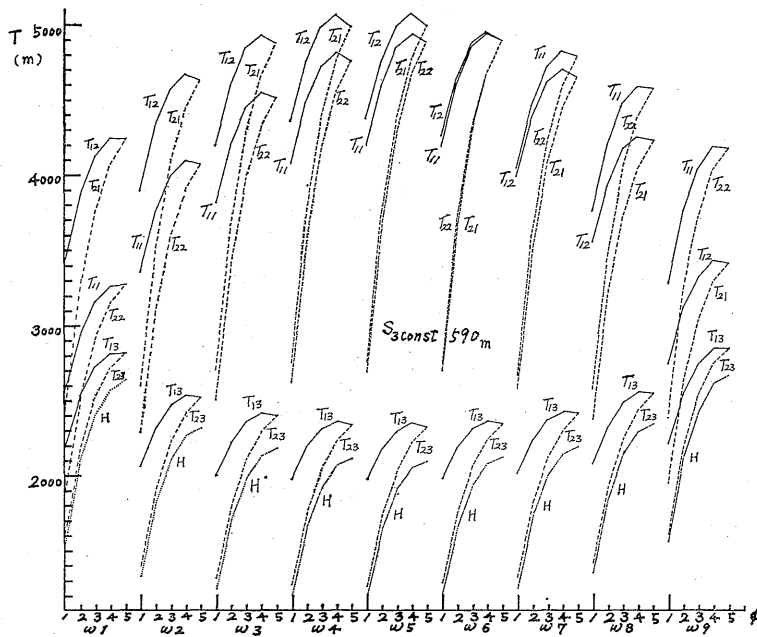


Fig. 16. The tension on each suspending point $1A_1$, $1A_2$, $2A_1$, $2A_2$ (of rail line) and $1P_0$, $2P_0$ (of sky line) (Weight=1,400 m, S_3 const=590 m, $\omega=1\sim 9$, $\phi=1\sim 5$)

(1973年4月6日受理)