

曳索付き運材索道の理論と実用的解法

鳥 山 清 美

(信州大学農学部 運材工学教室)

は し が き	34
I 曳索付き運材索道の基礎方程式	35
§ 1・1 搬器荷重の性質	35
§ 1・2 総合荷重負荷索の線形	35
§ 1・3 荷重点垂下量	37
II 一方曳索の場合	46
§ 2・1 曳索の平衡条件と総合荷重比	46
§ 2・2 荷重点垂下量および荷重点軌跡	47
§ 2・3 曳索の張力	50
§ 2・4 軌索の張力	53
§ 2・5 実用式の総括	64
III 二方曳索の場合	67
§ 3・1 上方総合荷重比	67
§ 3・2 荷重点垂下量および荷重点軌跡	77
§ 3・3 下方総合荷重比	77
§ 3・4 曳索の張力	80
§ 3・5 軌索の張力	82
§ 3・6 実用式の総括	85
§ 3・7 一方曳索の場合との関係	89
IV 摘 要	92
附 図	95
文 献	98
Summary	99

は し が き

運材用架空索道の方式として現在多く用いられているのは、搬器に木材を懸け、その搬器を曳索の操作によつて、固定された架空索（軌索）の上を動かして材を運搬するという方式である。いわゆる複線式索道で、交走式および循環式がこれである。

一方、この種の曳索付き運材索道の設計理論には、いまだ適当な実用的理論解法がなく、やむをえず曳索張力の影響を無視し、荷重は軌索に固定されているもの（固定荷重）として軌索の問題を解き、曳索の影響は別途に補正の手段を講じている現状である。

固定荷重の場合についての理論・解法には、垂曲線索理論による AMMAN und GRUENE-¹⁾WALDT, ²⁾STEPHAN, ³⁾DUHN, ⁴⁾西垣, ⁵⁾渡辺, ⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾苫名ら各氏の研究、ならびに拋物線索理論による ¹⁰⁾CARSTARPHEN, ¹¹⁾¹²⁾¹³⁾加藤, ¹⁴⁾加藤・堀ら各氏の研究が発表されている。中でも加藤・堀の理論・解法は、固定荷重索道に対するものとしては最も実用的な理論・解法であると思われるものであり、また事実林業界で大いに普及されつつある。

しかし、曳索付き索道では、曳索と軌索は独立でなく互いに影響を及ぼし合うからそれらの相互関係、搬器の運行問題あるいは曳索の張力問題などを解明し、索道の合理的設計を行なうには、固定荷重の場合の理論では不足であつて、どうしても曳索張力を同時に考慮した理論・解法が必要になつてくる。

これまで曳索張力を同時に考慮した場合の研究がないわけではなく ⁹⁾DUHN, ⁷⁾苫名, ¹⁵⁾¹⁶⁾渡辺および堀の各氏がその理論的解明を行ない、また本田ら ¹⁷⁾¹⁸⁾および苫名, ¹⁹⁾²⁰⁾各氏は実験的解明を試みている。しかしこれらの解法は、仮定の不備のため、索道形式の一部に対するものために普遍性を欠いていたり、あるいはその計算が繁雑すぎるなどの理由で実用に供せられていない。

それで複線式索道においても、固定荷重索道における加藤・堀の解法と同じような実用的解法の出現が強く望まれるものであるが、筆者はここに、曳索張力を同時に考慮した場合についても簡単に設計計算が行なえる解法を得たので以下論述する。

I においては曳索付き搬器荷重の性質を解明し、そのような荷重を受ける場合の軌索の垂下量を拋物線索理論によつて求め、さらにその実用式を求めた。この垂下量の式を基礎式として、II において、一方曳索の場合、III においては二方曳索の場合に対して、それぞれ荷重点軌跡、曳索および軌索の各種張力などに関する理論式および設計計算式を求めた。

なお、本解法は静力学的解法であつて、荷重の走行などによつて生ずる影響は無視した。また、式の誘導、変換の途中において使用する無負荷原索の理論式、あるいは固定荷重索の理論式としては、加藤・堀の式を借用して論を進めたし、加藤・堀の解法が普及の段階にあることを考慮して、用語、文字などはなるべく同一にするように心がけた。

本研究を行なうにあつては、終始京都大学教授杉原彦一氏の懇切なる御指導をうけたのでここに心からの謝意を申しのべる。

I 曳索付き運材索道の基礎方程式

§1・1 搬器荷重の性質

循環式，交走式の運材用索道において，搬器付き荷重が軌索上の任意の点で平衡を保ち得るのは曳索張力が常に関与しているためである。いま軌索上の任意の点 D で搬器荷重が平衡している状態を考える。

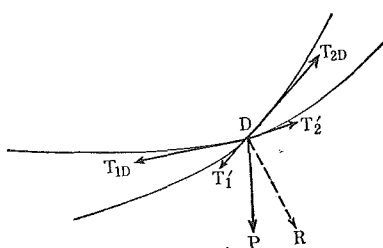


図1—1

〔記号〕

P : 荷重の大きさ

T_{1D}, T_{2D} : D 点における軌索の下方支点側および上方支点側張力

T'_{1}, T'_{2} : 同じく曳索の下方支点側および上方支点側張力

R : T'_{1}, T'_{2} および P の合力

D 点で平衡しているから（図1—1）のように荷重と各張力の5つの力は釣合いを保つ。したがって曳索の張力 T'_{1}, T'_{2} および荷重 P の合力を R とすると， R と軌索張力 T_{1D}, T_{2D} の3力は釣合わねばならない。

搬器滑車の摩擦抵抗を無視すると $T_{1D} = T_{2D}$ が成立するから3力が釣合うためには， R の働く方向と T_{1D} と T_{2D} の間の角の2等分線の方向とが一致すべきである。

軌索上を搬器がどこに移動しても以上の関係は成立するはずであるから，2等分線の D 点における法線 g を描けば， g は荷重点軌跡曲線の切線となる。

（図1—2）云いかえれば，合力 R は常に荷重軌跡曲線の法線方向に外側に向って働いていることになる。 R が鉛直方向となす角を θ とすれば，切線 g が水平方向となす角も θ である。

結局，曳索付き搬器荷重が軌索上にかかるときは曳索張力と荷重の働きを，荷重点軌跡曲線の法線方向に向う1つの力 R の働きに置き換えることができる。 R を総合荷重と呼ぶことにする。

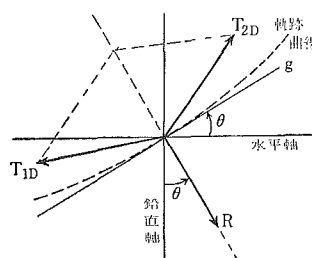


図1—2

§1・2 総合荷重負荷索の線形

無負荷時に，中央垂下量 f （中央垂下比 s ）で張られた架空索に（図1—3）に示すように R なる総合荷重1個が軌索上の任意の点 D にかかり釣合いを保っている状態を考える。

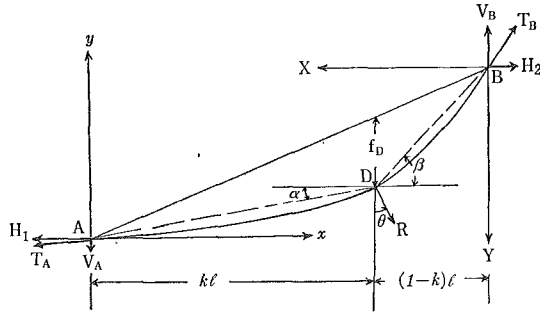


図1-3

[記号]

- A : 下方支点 B : 上方支点
- D : 荷重載荷点 l : 支間水平距離
- kl : 下方支点と荷重載荷点との間の水平距離
- (1-k)l : 上方支点と荷重載荷点との間の水平距離
- φ : 支間傾斜角
- α : 下方支点荷重載荷点間傾斜角
- β : 上方支点荷重載荷点間傾斜角
- R : 総合荷重(曳索張力と荷重の合力)
- f_D : 荷重点の垂下量

- s_D : = f_D/l 荷重点垂下比
- w : 軌索重量が水平方向に等分布していると考えたときの水平方向等分布重量
- θ : R が鉛直方向となす角(荷重点軌跡曲線のD点における切線が水平方向となす角)
- T_A, H₁, V_A : 下方支点 A における軌索の張力, T_A の水平分力および垂直分力
- T_B, H₂, V_B : 同じく上方支点 B におけるもの

索の平衡条件より

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= H_2 + R \sin \theta \\ V_A &= H_1 \tan \phi - \frac{wl}{2} - R(1-k) \cos \theta (1 + \tan \theta \tan \beta) \\ V_B &= H_2 \tan \phi + \frac{wl}{2} + Rk \cos \theta (1 + \tan \theta \tan \alpha) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1 \cdot 1)$$

ここで

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{R}{wl} \cos \theta (1 + \tan \theta \tan \alpha) \\ b &= \frac{R}{wl} \cos \theta (1 + \tan \theta \tan \beta) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1 \cdot 2)$$

とおけば (1・1) 式の V_A, V_B は

$$V_A = H_1 \tan \phi - \frac{wl}{2} \{1 + 2(1-k)b\} \dots\dots\dots (1 \cdot 3)$$

$$V_B = H_2 \tan \phi + \frac{wl}{2} \{1 + 2ka\} \dots\dots\dots (1 \cdot 4)$$

となる。

AD 索について (図1-3) に示すように A 点を原点とした x-y 座標軸をとれば, 索の任意点 x における勾配は

$$\frac{dy}{dx} = \tan \phi - \frac{wl}{2H_1} \left\{ \left(1 - 2\frac{x}{l}\right) + 2(1-k)b \right\} \dots\dots\dots (1 \cdot 5)$$

となり、したがって線形の方程式は

$$y = x \tan \phi - \frac{wl}{2H_1} x \left\{ \left(1 - \frac{x}{l}\right) + 2(1-k)b \right\} \dots\dots\dots (1 \cdot 6)$$

同様に \widehat{BD} 索については B 点を原点とする $X-Y$ 座標軸をとると、任意点 X における勾配および線形の方程式は

$$\frac{dY}{dX} = \tan \phi + \frac{wl}{2H_2} \left\{ \left(1 - 2\frac{X}{l}\right) + 2ka \right\} \dots\dots\dots (1 \cdot 7)$$

$$Y = X \tan \phi + \frac{wl}{2H_2} X \left\{ \left(1 - \frac{X}{l}\right) + 2ka \right\} \dots\dots\dots (1 \cdot 8)$$

荷重点の垂下量 f_D は (1・6) 式および (1・8) 式よりそれぞれ

$$f_D = \frac{wl^2}{2H_1} (1+2b)(k-k^2) \dots\dots\dots (1 \cdot 9)$$

および

$$f_D = \frac{wl^2}{2H_2} (1+2a)(k-k^2) \dots\dots\dots (1 \cdot 10)$$

したがって

$$\frac{1+2b}{H_1} = \frac{1+2a}{H_2} \dots\dots\dots (1 \cdot 11)$$

§ 1・3 荷重点の垂下量

1) 基礎方程式の誘導

索の弾性伸長が無く、支点変位なども無いものとする、無負荷時の索長 (原索長) L は負荷後の \widehat{AD} 索長 L_1 と \widehat{BD} 索長 L_2 との和に等しい。ここに

$$L = l \sec \phi \left\{ 1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f}{l} \right)^2 \cos^4 \phi \right\}$$

$$L_1 = \int_0^{kl} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2} dx, \quad L_2 = \int_0^{(1-k)l} \sqrt{1 + \left(\frac{dY}{dX} \right)^2} dX$$

である。²²⁾

$|A|$ が小さければ一般に

$$\int \sqrt{1 + (\tan \phi + A)^2} dx = \sec \phi \int \left\{ 1 + A \sin \phi \cos \phi + \frac{A^2}{2} \cos^4 \phi \right\} dx$$

とすることができるから L_1, L_2 の $\frac{dy}{dx}, \frac{dY}{dX}$ に (1・5) 式, (1・7) 式の値を入れて積分を行ない $L = L_1 + L_2$ と置き整頓すれば次の関係式が得られる。

$$f^2 = \frac{f_D^2}{16(k-k^2)^2} \left\{ 3(k-k^2) + \frac{(1-k)^3}{(1+2a)^2} + \frac{k^3}{(1+2b)^2} \right\}$$

さらに変形すると

$$f^2 = \frac{f_D^2 \{1 + 12(a+a^2)(k-k^2)^2\}}{16(k-k^2)^2(1+2a)^2} (1-2K_1)$$

ただし

$$K_1 = \frac{2(b-a)(1+a+b)k^3}{(1+2b)^2 \{1 + 12(a+a^2)(k-k^2)^2\}}$$

} \dots\dots\dots (1\cdot12)

あるいは

$$f^2 = \frac{f_D^2 \{1 + 12(b+b^2)(k-k^2)^2\}}{16(k-k^2)^2(1+2b)^2} (1+2K_2)$$

ただし

$$K_2 = \frac{2(b-a)(1+a+b)(1-k)^3}{(1+2a)^2 \{1 + 12(b+b^2)(k-k^2)^2\}}$$

} \dots\dots\dots (1\cdot13)

が得られる。

2) K_1, K_2 の検討

さてここで K_1, K_2 に注目しその値を検討してみることにする。

(1\cdot1), (1\cdot2) 式から

$$\frac{a}{b} = \frac{1 + \tan\theta \tan\alpha}{1 + \tan\theta \tan\beta} = 1 - (\tan\beta - \tan\alpha) \frac{\tan\theta}{1 + \tan\theta \tan\beta} \dots\dots\dots (1\cdot14)$$

であるが、(図1-3) で明らかのように

$$\tan\alpha = \tan\phi - \frac{s_D}{k} \quad \tan\beta = \tan\phi + \frac{s_D}{1-k} \dots\dots\dots (1\cdot15)$$

したがって

$$\tan\beta - \tan\alpha = \frac{s_D}{k-k^2} \dots\dots\dots (1\cdot16)$$

となるから

$$c = \frac{s_D}{k-k^2} \cdot \frac{\tan\theta}{1 + \tan\theta \tan\beta} \dots\dots\dots (1\cdot17)$$

と置けば

$$a = b(1-c) \dots\dots\dots (1\cdot18)$$

となる。これを用いると K_1, K_2 は

$$K_1 = \frac{2bc\{1+b+b(1-c)\}k^3}{(1+2b)^2 [1 + 12\{b(1-c) + b^2(1-c)^2\}(k-k^2)^2]} \dots\dots\dots (1\cdot19)$$

$$K_2 = \frac{2bc\{1+b+b(1-c)\}(1-k)^3}{\{1+2b(1-c)\}^2 [1 + 12(b+b^2)(k-k^2)^2]} \dots\dots\dots (1\cdot20)$$

と書き換え得る。

(1\cdot19), (1\cdot20) 式で与えられる K_1, K_2 の b, c には荷重点軌跡が関係してくるから、その不明である現段階では K_1, K_2 の計算は不可能であるが、試みに荷重軌跡曲線を仮定

して計算してみる。仮定する荷重軌跡曲線としてはいろいろ考えられるがここでは原索線形曲線と集中荷重 1 個がかかつたときの荷重軌跡曲線（固定荷重の場合）の 2 曲線を取り上げる。

(1) 原索線形曲線の場合

原索線形曲線に対して拋物線索理論によ²²⁾ると

曲線の方程式：

$$y = x \tan \phi - 4sl \left(\frac{x}{l} - \frac{x^2}{l^2} \right)$$

荷重点垂下比：

$$s_D = 4s(k - k^2)$$

荷重点における曲線の勾配：

$$\tan \theta = \tan \phi - 4s(1 - 2k)$$

である。

したがつて (1・15) 式より

$$\tan \beta = \tan \phi + 4sk$$

であり (1・17) 式は

$$c = 4s \frac{\tan \phi - 4s(1 - 2k)}{1 + \{\tan \phi - 4s(1 - 2k)\} \{\tan \phi + 4sk\}}$$

となる。

実際の索道に見られる諸元の数値¹⁸⁾²²⁾²³⁾

$$b = 0.5 \sim 3.0, \quad \tan \phi = 0^\circ \sim 30^\circ, \quad s = 0.03 \sim 0.07$$

を用いて (1・19), (1・20) 式より K_1, K_2 を実際に計算してみると (表 1—1) および (表 1—2) のとおりになる。

(2) 集中荷重 1 個のとき (固定荷重) の荷重軌跡曲線の場合

拋物線索理論によ²²⁾れば $n = P/wl$ として曲線の方程式：

$$y = x \tan \phi - 4sl \frac{(1+2n) \left(\frac{x}{l} - \frac{x^2}{l^2} \right)}{\sqrt{1+12(n+n^2) \left(\frac{x}{l} - \frac{x^2}{l^2} \right)}}$$

荷重点垂下比：

$$s_D = \frac{4s(1+2n)(k-k^2)}{\sqrt{1+12(n+n^2)(k-k^2)}}$$

荷重点における曲線の勾配：

$$\tan \theta = \tan \phi - 4s(1+2n)(1-2k) \frac{1+6(n+n^2)(k-k^2)}{\{1+12(n+n^2)(k-k^2)\}^{3/2}}$$

}(1・21)

}(1・22)

表1—1 軌跡曲線を原索線形曲線と仮定した場合の K_1 の値

ϕ	s	$\frac{k}{b}$	0.0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0
0°	0.03	0.5	0.00000	-0.00000	-0.00001	-0.00003	0.00010	0.00091	0.00232	0.00708
		1.0	0.00000	-0.00000	-0.00001	-0.00002	0.00006	0.00061	0.00178	0.00943
		3.0	0.00000	-0.00000	-0.00000	-0.00001	0.00002	0.00016	0.00050	0.01213
	0.05	0.5	0.00000	-0.00001	-0.00004	-0.00008	0.00027	0.00250	0.00616	0.01905
		1.0	0.00000	-0.00001	-0.00003	-0.00005	0.00017	0.00169	0.00489	0.02564
		3.0	0.00000	-0.00000	-0.00001	-0.00001	0.00004	0.00044	0.00145	0.03242
	0.07	0.5	0.00000	-0.00002	-0.00008	-0.00016	0.00055	0.00527	0.01370	0.04163
		1.0	0.00000	-0.00001	-0.00005	-0.00010	0.00034	0.00360	0.01071	0.05511
		3.0	0.00000	-0.00000	-0.00001	-0.00001	0.00009	0.00094	0.00323	0.07026
10°	0.03	0.5	0.00000	0.00000	0.00002	0.00018	0.00079	0.00279	0.00617	0.01621
		1.0	0.00000	0.00000	0.00001	0.00011	0.00048	0.00202	0.00475	0.02156
		3.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00003	0.00012	0.00053	0.00141	0.02768
	0.05	0.5	0.00000	0.00001	0.00002	0.00027	0.00126	0.00582	0.01235	0.03242
		1.0	0.00000	0.00000	0.00001	0.00017	0.00090	0.00398	0.00963	0.04298
		3.0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00004	0.00022	0.00105	0.00289	0.05491
	0.07	0.5	0.00000	-0.00000	-0.00000	0.00033	0.00214	0.00931	0.01992	0.05148
		1.0	0.00000	-0.00001	-0.00003	0.00021	0.00136	0.00644	0.01574	0.06801
		3.0	0.00000	-0.00001	-0.00000	0.00005	0.00034	0.00173	0.00483	0.08653
20°	0.03	0.5	0.00000	0.00001	0.00005	0.00035	0.00140	0.00468	0.00928	0.02325
		1.0	0.00000	0.00001	0.00004	0.00022	0.00088	0.00319	0.00720	0.03087
		3.0	0.00000	0.00000	0.00001	0.00005	0.00022	0.00084	0.00215	0.03959
	0.05	0.5	0.00000	0.00001	0.00008	0.00063	0.00265	0.00964	0.01967	0.04939
		1.0	0.00000	0.00001	0.00005	0.00040	0.00168	0.00667	0.01553	0.06529
		3.0	0.00000	0.00000	0.00001	0.00010	0.00042	0.00179	0.00476	0.08306
	0.07	0.5	0.00000	0.00001	0.00009	0.00080	0.00348	0.01267	0.02538	0.06170
		1.0	0.00000	0.00001	0.00006	0.00051	0.00225	0.00881	0.02025	0.08136
		3.0	0.00000	0.00000	0.00002	0.00013	0.00054	0.00241	0.00630	0.10328
30°	0.03	0.5	0.00000	0.00001	0.00008	0.00052	0.00183	0.00586	0.01135	0.02776
		1.0	0.00000	0.00001	0.00005	0.00033	0.00116	0.00401	0.00884	0.03683
		3.0	0.00000	0.00000	0.00002	0.00008	0.00029	0.00132	0.00265	0.04718
	0.05	0.5	0.00000	0.00002	0.00012	0.00085	0.00313	0.01016	0.01969	0.04728
		1.0	0.00000	0.00001	0.00008	0.00054	0.00200	0.00704	0.01556	0.06252
		3.0	0.00000	0.00000	0.00002	0.00014	0.00050	0.00190	0.00465	0.07962
	0.07	0.5	0.00000	0.00002	0.00016	0.00117	0.00447	0.01472	0.02844	0.06679
		1.0	0.00000	0.00002	0.00011	0.00075	0.00289	0.01035	0.02281	0.08799
		3.0	0.00000	0.00001	0.00003	0.00019	0.00074	0.00284	0.00716	0.11156

表1—2 軌跡曲線を原索線形曲線と仮定した場合の K_2 の値

ϕ	s	$\frac{k}{b}$	0.0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0
0°	0.03	1.5	-0.00712	-0.00230	-0.00091	-0.00010	0.00003	0.00001	0.00000	0.00000
		1.0	-0.00946	-0.00175	-0.00061	-0.00006	0.00002	0.00001	0.00000	0.00000
		3.0	-0.01212	-0.00051	-0.00016	-0.00002	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
	0.05	0.5	-0.01942	-0.00631	-0.00258	-0.00028	0.00008	0.00004	0.00001	0.00000
		1.0	-0.02564	-0.00478	-0.00174	-0.00017	0.00005	0.00003	0.00000	0.00000
		3.0	-0.03260	-0.00138	-0.00045	-0.00004	0.00001	0.00001	0.00000	0.00000
	0.07	0.5	-0.03683	-0.01215	-0.00486	-0.00043	0.00020	0.00012	0.00003	0.00000
		1.0	-0.04821	-0.00914	-0.00322	-0.00033	0.00016	0.00006	0.00002	0.00000
		3.0	-0.06070	-0.00262	-0.00083	-0.00008	0.00003	0.00002	0.00001	0.00000
10°	0.03	0.5	0.00336	0.00192	0.00130	0.00061	0.00024	0.00005	0.00001	0.00000
		1.0	0.00449	0.00142	0.00088	0.00038	0.00015	0.00003	0.00001	0.00000
		3.0	0.00580	0.00043	0.00024	0.00009	0.00004	0.00001	0.00000	0.00000
	0.05	0.5	-0.00246	0.00066	0.00118	0.00093	0.00042	0.00009	0.00002	0.00000
		1.0	-0.00239	0.00035	0.00033	0.00017	0.00027	0.00006	0.00001	0.00000
		3.0	-0.00685	0.00015	0.00021	0.00014	0.00007	0.00002	0.00000	0.00000
	0.07	0.5	-0.01994	-0.00132	0.00245	0.00091	0.00052	0.00015	0.00003	0.00000
		1.0	-0.01765	-0.00201	0.00165	0.00070	0.00042	0.00010	0.00002	0.00000
		3.0	-0.02249	-0.00812	0.00043	0.00017	0.00010	0.00006	0.00001	0.00000
20°	0.03	0.5	0.01372	0.00665	0.00343	0.00118	0.00042	0.00007	0.00001	0.00000
		1.0	0.01982	0.00334	0.00233	0.00074	0.00030	0.00005	0.00001	0.00000
		3.0	0.02392	0.00136	0.00061	0.00018	0.00006	0.00001	0.00000	0.00000
	0.05	0.5	0.01567	0.00784	0.00490	0.00213	0.00079	0.00015	0.00003	0.00000
		1.0	0.02067	0.00597	0.00333	0.00135	0.00050	0.00011	0.00002	0.00000
		3.0	0.04519	0.00178	0.00087	0.00034	0.00013	0.00003	0.00001	0.00000
	0.07	0.5	0.01160	0.00759	0.00553	0.00222	0.00085	0.00020	0.00004	0.00000
		1.0	0.01556	0.00585	0.00377	0.00167	0.00067	0.00014	0.00003	0.00000
		3.0	0.02017	0.00172	0.00098	0.00043	0.00017	0.00000	0.00000	0.00000
30°	0.03	0.5	0.02244	0.00932	0.00506	0.00175	0.00054	0.00009	0.00002	0.00000
		1.0	0.03025	0.00721	0.00344	0.00111	0.00034	0.00006	0.00001	0.00000
		3.0	0.03948	0.00213	0.00094	0.00027	0.00009	0.00002	0.00000	0.00000
	0.05	0.5	0.03563	0.01416	0.00793	0.00289	0.00093	0.00016	0.00003	0.00000
		1.0	0.04835	0.01100	0.00542	0.00184	0.00060	0.00011	0.00002	0.00000
		3.0	0.06346	0.00327	0.00144	0.00046	0.00015	0.00003	0.00001	0.00000
	0.07	0.5	0.03783	0.01748	0.00920	0.00325	0.00109	0.00021	0.00004	0.00000
		1.0	0.05097	0.01364	0.00705	0.00256	0.00086	0.00017	0.00002	0.00000
		3.0	0.06696	0.00407	0.00188	0.00064	0.00022	0.00004	0.00000	0.00000

したがって

$$\tan\beta = \tan\phi + \frac{4sk(1+2n)}{\sqrt{1+12(n+n^2)(k-k^2)}}$$

これらの諸式を用いて(1)の場合と同様にして K_1, K_2 を計算した結果が(表1-3)および(表1-4)である。

表1-3 軌跡曲線を単一固定荷重軌跡曲線と仮定した場合の K_1 の値

ϕ	s	$\frac{k}{b}$	0.0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0
10°	0.03	1.0	0.00000	0.00001	0.00002	0.00019	0.00056	0.00262	0.00830	0.09501
		3.0	0.00000	0.00000	0.00001	0.00004	0.00014	0.00070	0.00266	0.29517
	0.07	1.0	0.00000	-0.00001	0.00002	0.00028	0.00145	0.00807	0.02758	0.24078
		3.0	0.00000	-0.00002	0.00001	0.00008	0.00036	0.00219	0.00929	0.43701
30°	0.03	1.0	0.00000	0.00002	0.00008	0.00039	0.00133	0.00533	0.01495	0.11258
		3.0	0.00000	0.00001	0.00002	0.00010	0.00080	0.00150	0.00509	0.28165
	0.07	1.0	0.00000	0.00010	0.00016	0.00090	0.00328	0.01373	0.03829	0.22900
		3.0	0.00000	0.00001	0.00005	0.00024	0.00086	0.00398	0.01387	0.40888

表1-4 軌跡曲線を単一固定荷重軌跡曲線と仮定した場合の K_2 の値

ϕ	s	$\frac{k}{b}$	0.0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0
10°	0.03	1.0	-0.04263	0.00217	0.00135	0.00047	0.00017	0.00004	0.00001	0.00000
		3.0	-0.28948	0.00081	0.00039	0.00012	0.00004	0.00001	0.00000	0.00000
	0.07	1.0	-0.25235	-0.00518	0.00103	0.00096	0.00043	0.00013	0.00004	0.00000
		3.0	-0.48267	-0.01118	0.00038	0.00025	0.00011	0.00004	0.00000	0.00000
30°	0.03	1.0	0.04978	0.01236	0.00486	0.00130	0.00040	0.00008	0.00002	0.00000
		3.0	-0.16567	0.00421	0.00136	0.00033	0.00010	0.00002	0.00001	0.00000
	0.07	1.0	-0.13684	0.02269	0.00991	0.00325	0.00098	0.00022	0.00006	0.00000
		3.0	-0.49681	0.00836	0.00309	0.00080	0.00026	0.00006	0.00002	0.00000

ただし(1.22)式を計算するに際し、II,(2.4)式あるいはIII,(3.6)式でわかるとおり n の値は b の値とあまり変わらないから $n=b$ として計算した。

以上は b を基準として計算を進めて来たのであるが、 a を基準にしても同様に

$$\left. \begin{aligned} b &= a(1+c') \\ \text{ただし} & \\ c' &= \frac{s_D}{k-k^2} \cdot \frac{\tan\theta}{1+\tan\theta \tan\alpha} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1.23)$$

となり

$$K_1 = \frac{2ac'\{1+a+a(1+c')\}k^3}{\{1+2a(1+c')\}^2[1+12(a+a^2)(k-k^2)]} \dots\dots\dots(1.24)$$

$$K_2 = \frac{2ac'\{1+a+a(1+c')\}(1-k)^3}{[1+2a]^2[1+12\{a(1+c')+a^2(1+c')^2\}(k-k^2)]} \dots\dots\dots(1\cdot25)$$

と変形できるから全く同様に計算を行えば（表1-1）、（表1-2）および（表1-3）、（表1-4）と同程度の値が得られる。

3) 荷重点垂下比の実用式

(1・19)、(1・20) 式および上述の計算例から、荷重軌跡曲線として原索線形曲線を仮定した場合においても、あるいは固定荷重軌跡曲線を仮定した場合においても次のことがいえる。

(1) b の大小すなわち荷重の大小にかかわらず、また原索中央垂下比 s 、あるいは支間傾斜角 ϕ の大小にかかわらず K_1 は $k=0\sim 0.9$ の範囲で、 K_2 は $k=0.1\sim 1.0$ の範囲で小さな値である。

(2) $c\approx 0$ すなわち $\theta\approx 0$ の範囲で K_1 、 K_2 は小さくなる。 $\theta\approx 0$ になるのは一般に下方支点寄りであるから、 K_2 は上記(1)の範囲外においても $\theta\approx 0$ のときはその値は小さい。

したがって(1)(2)の範囲において (1・12) 式および (1・13) 式より十分正確に

$$f_D = \frac{4f(1+2a)(k-k^2)}{\sqrt{1+12(a+a^2)(k-k^2)}}(1+K_1) \dots\dots\dots(1\cdot26)$$

$$f_D = \frac{4f(1+2b)(k-k^2)}{\sqrt{1+12(b+b^2)(k-k^2)}}(1-K_2) \dots\dots\dots(1\cdot27)$$

あるいは荷重点垂下比として

$$s_D = \frac{4s(1+2a)(k-k^2)}{\sqrt{1+12(a+a^2)(k-k^2)}}(1+K_1) \dots\dots\dots(1\cdot28)$$

$$s_D = \frac{4s(1+2b)(k-k^2)}{\sqrt{1+12(b+b^2)(k-k^2)}}(1-K_2) \dots\dots\dots(1\cdot29)$$

とすることができる。

(1・26)～(1・29) 式が荷重点の垂下量、垂下比さらに荷重点軌跡および各種索張力を求めるための基礎式となるべきものである。

さらに実用式として K_1 、 K_2 を省略して

$k=0\sim 0.9$ の範囲で

$$s_D = \frac{4s(1+2a)(k-k^2)}{\sqrt{1+12(a+a^2)(k-k^2)}} \dots\dots\dots(1\cdot30)$$

$k=0.1\sim 1.0$ および $\theta\approx 0$ の範囲で

$$s_D = \frac{4s(1+2b)(k-k^2)}{\sqrt{1+12(b+b^2)(k-k^2)}} \dots\dots\dots(1\cdot31)$$

を得る。

(1・30) 式および (1・31) 式はその形の上において従来の加藤の (1・22) 式の n が a または b と置き換えられただけの全く同じものである。その意味で a , b を総合荷重比と呼び, a を下方総合荷重比, b を上方総合荷重比と呼ぶことにする。 n は固定荷重比というべきものである。固定荷重比 n が常数であるのに対し総合荷重比 a , b は荷重位置による変数である。

元来荷重点垂下比 s_D は a を用いても b を用いても同一の結果が得られるべきものであるが, (1・30) 式および (1・31) 式の実用式を用いると K_1 , K_2 を省略したために異なる値が得られる。これを区別するために, 下方総合荷重比 a を用いて (1・30) 式より求めた荷重点垂下比 s_D を下方荷重点垂下比, 上方総合荷重比 b を用いて (1・31) 式より求めたものを上方荷重点垂下比と呼ぶことにする。

両荷重点垂下比を (1・12) 式あるいは (1・13) 式から求められるであろう正確な値と比較すると

(3) $\theta=0$ のとき (荷重が最下点にあるとき)

$$c=0, K_1=K_2=0, a=b \text{ となるから}$$

両垂下比は一致し正確値である。

(4) $\theta>0$ の範囲 (最下点より上方支点まで)

$$c>0, K_1>0, K_2>0, a<b \text{ となり}$$

下方荷重点垂下比は過小値

上方荷重点垂下比は過大値

(5) $\theta<0$ 範囲 (最下点より下方支点まで)

$$c<0, K_1<0, K_2<0, a>b \text{ となり}$$

下方荷重点垂下比は過大値

上方荷重点垂下比は過小値

であることがいえる。

さらに両者の過大, 過小の程度を調べるために下方荷重点垂下比と上方荷重点垂下比の比をとつて計算してみる。すなわち

$$t = \frac{\text{下方荷重点垂下比}}{\text{上方荷重点垂下比}}$$

と置けば

$$t = \frac{(1+2a)\{1+12(b+b^2)k-k^2\}^{1/2}}{(1+2b)\{1+12(a+a^2)k-k^2\}^{1/2}} \dots\dots\dots(1\cdot32)$$

であるから, (表1—1) ~ (表1—4) を求めたときと同様に, 軌跡曲線を仮定して, 実際の数値を用いて t を計算してみる。計算結果は (表1—5) および (表1—6) である。

$|1-t|$ は両垂下比の相対誤差になる。また, $k=0$ および $k=1.0$ においては両垂下比とも 0 になるから, 表中の $k=0$, $k=1.0$ のときの値は両垂下比の比の極限值と考えるべきである。

計算結果から次のようなことがいえる。

(6) $k=0.1\sim 0.9$ の範囲の t の値は 1.0 に近い。特に $k=0.4\sim 0.6$ では $t=1.0$ である。

すなわち, $k=0.1\sim 0.9$ では過大値といいあるいは過小値といつても実用的には問題に

表1-5 軌跡曲線を原索線形曲線と仮定した場合の t の値

ϕ	s	$\frac{k}{b}$	0.0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0
10°	0.03	1.0	0.9955	0.9988	0.9991	0.9993	0.9993	0.9979	0.9934	0.9782
		3.0	0.9943	0.9996	0.9999	1.0000	0.9998	0.9971	0.9915	0.9720
	0.07	1.0	1.0179	1.0020	0.9998	0.9999	0.9992	0.9934	0.9841	0.9295
		3.0	1.0232	1.0124	0.9999	1.0000	0.9995	0.9982	0.9951	0.9093
30°	0.03	1.0	0.9710	0.9929	0.9965	0.9985	0.9985	0.9959	0.9908	0.9624
		3.0	0.9628	0.9979	0.9991	0.9997	0.9996	0.9989	0.9973	0.9517
	0.07	1.0	0.9526	0.9866	0.9930	0.9973	0.9962	0.9894	0.9769	0.9077
		3.0	0.9391	0.9959	0.9981	0.9991	0.9990	0.9971	0.9928	0.8814

表1-6 軌跡曲線を単一固定荷重軌跡曲線と仮定した場合の t の値

ϕ	s	$\frac{k}{b}$	0.0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0
10°	0.03	1.0	1.0455	0.9978	0.9986	0.9994	0.9994	0.9973	0.9918	0.9000
		3.0	1.5041	0.9992	0.9995	0.9995	0.9998	0.9993	0.9923	0.6401
	0.07	1.0	1.4021	1.0055	0.9989	0.9987	0.9981	0.9918	0.9719	0.7201
		3.1	5.3712	1.0010	0.9996	0.9997	0.9994	0.9977	0.9907	0.3550
30°	0.03	1.0	0.9537	0.9879	0.9951	0.9983	0.9983	0.9946	0.9849	0.8803
		3.0	1.2231	0.9958	0.9986	0.9996	0.9995	0.9987	0.9949	0.2090
	0.07	1.0	1.1735	0.9781	0.9894	0.9960	0.9957	0.9860	0.9609	0.7762
		3.0	12.0514	0.9917	0.9969	0.9989	0.9989	0.9959	0.9860	0.1350

注] 太字は $\theta < 0$ のとき

しなくてもよい程度の過大値であり過小値である。特に $k=0.4\sim 0.6$ では両垂下比とも正確値とみなしてさしつかえない。

(7) $k=0\sim 0.1$ および $k=0.9\sim 1.0$ の範囲では t の値は 1.0 より無視できないくらい離れる。特に $\theta < 0$ の場合(太字数字)に著しい。

すなわち $k=0\sim 0.1$ では下方荷重点垂下比がほとんど正確値に等しい($K_1 \doteq 0$ であるから,) このような結果は上方荷重点垂下比に起因したもので、特に $\theta < 0$ の場合は上方荷重点垂下比は過小の程度が大きく無視できなくなる。 $k=0.9\sim 1.0$ では逆に下方荷重点垂下比の過小度が無視できない。

ただし $k=0\sim 0.1$ の範囲でも $\theta > 0$ のときはそれほどの差が認められないが、これは普通の場合、下方支点における軌跡曲線の勾配はあまり大きくないためである。

(8) (3), (4), (5)で述べた過大, 過小の問題は, $t \leq 1$ で決まるから表にも現われている。

以上, 上下両荷重点垂下比に関して(1)~(8)までで, その性質がわかったから実用式として(1.30)式(1.31)式のいずれを採用すべきかは, そのときどきに応じて決定すればよい。ただ, 索道設計に際して誤差が安全側に出るよう心がけるべきである。

また, a と b は(1.18)式および(1.23)式のとおり, $a=b(1-c)$ あるいは $b=a(1+c')$

なる関係があるから、 a, b のうちいずれか一方が決定されればそれを基準として他方が求められるし、(1.18) 式、(1.23) 式の両式も算定できるから、 a か b を求めれば十分であることが多い。

II 一方曳索の場合

§ 2.1 曳索の平衡条件と総合荷重比

(図2-1) において、曳索の上方支点は軌索の上方支点 B に一致しているものと仮定する。したがって支点荷重点間傾斜角は β である。荷重 P は傾斜角 θ の荷重点軌跡面上の D 点にあり曳索張力 T'_D および反力 R のために D 点で停止している。R は I の総合荷重と等大反方向で軌索張力の合力でもある。

T'_B の水平方向となす角を γ_D 、水平分力を H' 、垂直分力を V'_D とすると釣合いの条件より

$$\left. \begin{aligned} V'_D &= T'_D \sin \gamma_D = P - R \cos \theta \\ H' &= T'_D \cos \gamma_D = R \sin \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.1)$$

一方、曳索の釣合いから

$$\left. \begin{aligned} H' &= R \sin \theta \\ V'_D &= H' \tan \beta - \frac{w'(1-k)l}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.2)$$

ただし

w' : 曳索重量が水平方向に等分布していると考えたときの水平方向等分布重量したがって (2.1), (2.2) 式より

$$R \cos \theta (1 + \tan \theta \tan \beta) = P + \frac{w'(1-k)l}{2} \dots\dots\dots (2.3)$$

前章 § 1.3 (1.2) 式で定義した上方総合荷重比 b は

$$b = \frac{R}{wl} \cos \theta (1 + \tan \theta \tan \beta) \dots\dots\dots (1.2)$$

であつたから、(2.3) 式を代入すると

$$b = n + \frac{\varepsilon(1-k)}{2} \dots\dots\dots (2.4)$$

ただし

$$n = \frac{P}{wl} : \text{固定荷重比}$$

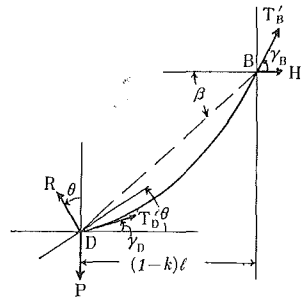


図2-1

$$\varepsilon = \frac{w' \div q'}{w \div q} : \text{曳索と軌索の単位長さ重量比}$$

q, q' : 軌索および曳索の単位長さ当り重量

が得られる。曳索と軌索の直径比は $1/3 \sim 2/3$ 位であるから、 ε の値は大体 $0.1 \sim 0.4$ である。¹³⁾²³⁾

このように曳索の釣合いの条件から、上方総合比 b がまず確定されるのであるが、一方曳索の場合は荷重の移動範囲は $\theta \geq 0$ の範囲であるから I, §1・3 で検討したとおり、 b を基準として議論を進めていく。

さて、(2・2), (2・3) 式より

$$H' = wlb \frac{\tan\theta}{1 + \tan\theta \tan\beta} \dots\dots\dots(2 \cdot 5)$$

であるから、曳索の中央垂下比を s' とすると

$$s' = \frac{w'(1-k)l}{8H'} = \frac{\varepsilon(1-k)(1 + \tan\theta \tan\beta)}{8b \tan\theta} \dots\dots\dots(2 \cdot 6)$$

となり、 D 点および B 点における曳索の傾斜角をそれぞれ γ_D, γ_B とすると

$$\left. \begin{aligned} \tan\gamma_D &= \tan\beta - 4s' \\ &= \frac{2n \tan\theta \tan\beta - \varepsilon(1-k)}{2b \tan\theta} \\ \tan\gamma_B &= \tan\beta + 4s' \\ &= \frac{2\{n + \varepsilon(1-k)\} \tan\theta \tan\beta + \varepsilon(1-k)}{2b \tan\theta} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2 \cdot 7)$$

となるから平衡状態にある曳索の線形は、荷重点軌跡が決定されれば (2・6), (2・7) 式等から決定される。荷重点軌跡については次に述べる。

§2・2 荷重点垂下量および荷重点軌跡

1) 荷重点垂下量

$$b = n + \frac{\varepsilon(1-k)}{2} \quad \text{---(2・4)---}$$

で上方総合荷重比 b が確定されるから、(1・31) 式より

荷重点垂下量：

$$f_D = \frac{4f(1+2b)(k-k^2)}{\sqrt{1+12(b+b^2)}(k-k^2)} \dots\dots\dots(2 \cdot 8)$$

荷重点垂下比：

$$s_D = \frac{4s(1+2b)(k-k^2)}{\sqrt{1+12(b+b^2)}(k-k^2)} \dots\dots\dots(2 \cdot 9)$$

が得られる。

2) 荷重点軌跡

(図2-2) のようにA点を原点として座標軸 $x-y$ を取ると、D点の縦距 y は

$$y = kl \tan \phi - f_D$$

であるから (2・8) 式を代入して

$$y = kl \tan \theta - \frac{4f(1+2b)(k-k^2)}{\sqrt{1+12(b+b^2)(k-k^2)}} \dots\dots\dots(2\cdot10)$$

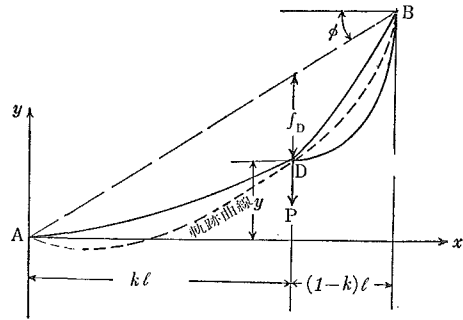


図2-2

となる。ここで k が $0 \sim 1.0$ の変数と考え $k = x/l$ とおけば、(2・10) 式がそのまま荷重点軌跡の方程式となる。

いま考えている一方曳索の場合は、前にも述べたとおり $\theta \geq 0$ の範囲を考えればよいから、I, §1・3で述べたように (2・8) 式および (2・9) 式で与えられる f_D および s_D は、わずかの過大値であるが実用的には十分正確である。さらに (2・10) 式で与えられる軌跡曲線は荷重通過の問題に対しては誤差は安全側に出る。

要するに、今まで不明のまま過ぎて来た荷重点の垂下量、垂下比および軌跡曲線は、一方曳索の場合は (2・8) 式、(2・9) 式および (2・10) 式で与えられるものを採用してよい。いま

$$r = \frac{1+2b}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}} \dots\dots\dots(2\cdot11)$$

と置けば、 r は従来の負荷索増垂係数と同形であるから、ここでも増垂係数と呼ぶことにする。この r を用いると

$$\left. \begin{aligned} f_D &= 4fr(k-k^2) \\ s_D &= 4sr(k-k^2) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2\cdot12)$$

となる。巻末の(附図I)は r 算出図表である。

3) 軌跡曲線の勾配

軌跡曲線の勾配は (2・10) 式を x について微分して

$$\tan \theta = \tan \phi - \frac{4s(1+2b)(1-2k)\{1+6(b+b^2)(k-k^2)\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}} + \frac{4\epsilon s(k-k^2)\{k^3+(1-k)^3\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}} \dots\dots\dots(2\cdot13)$$

この式より $\tan \theta = 0$ なる点が求められるが、その点は軌跡曲線の最下点であり荷重の降下可能な理論的限度でもある。しかし $\tan \theta = 0$ のときは (2・5) ~ (2・7) 式でわかるように、 $H' = 0$, $s' = \infty$, $\tan \gamma_D = -\infty$, $\tan \gamma_B = \infty$ となるべきであり曳索をD点およびB点で吊り下げたような形になることを意味する。実際には曳索は地面に接触してしまいそのための抵抗や搬器の摩擦抵抗などで荷重は理論的降下限度に達する以前において停止するこ

とになる。

(2・13) 式の第3項に注目すれば、

$$s = 0.03 \sim 0.06$$

であり

$$\frac{4\epsilon(k-k^2)\{k^3+(1-k)^3\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}}$$

の値は(表2—1)に見られるような値である。したがって2者の積である(2・13)式の第3項は全支間にわたって無視できる程度の値である。

これを無視すると(2・13)式は

$$\tan\theta = \tan\phi - \frac{4s(1+2b)(1-2k)\{1+6(b+b^2)(k-k^2)\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}} \dots\dots\dots (2\cdot14)$$

となり、この式を軌跡勾配の実用式とする。

$$\theta = \frac{(1+2b)(1-2k)\{1+6(b+b^2)(k-k^2)\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}}$$

と置くと

$$\tan\theta = \tan\phi - 4s\theta$$

となるが、巻末の(附図II)は θ の算出図表である。

さらに(附図II)からもわかるように、 $k=0.1\sim 0.9$ の範囲で $\theta \approx (1-2k)$ とみなせるから、近似的に

$$\tan\theta = \tan\phi - 4s(1-2k) \quad (0.1 \leq k \leq 0.9) \dots\dots\dots (2\cdot15)$$

とすることができる。

表2—1 $\frac{4\epsilon(k-k^2)\{k^3+(1-k)^3\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}}$ の値

n	$\frac{k}{\epsilon}$	0	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	0.95	1.00
0.5	0.1	0.0000	0.0090	0.0100	0.0080	0.0044	0.0045	0.0079	0.0107	0.0095	0.0000
	0.2	0.0000	0.0170	0.0184	0.0145	0.0081	0.0086	0.0167	0.0212	0.0190	0.0000
	0.4	0.0000	0.0303	0.0315	0.0244	0.0140	0.0155	0.0318	0.0417	0.0378	0.0000
1.0	0.1	0.0000	0.0049	0.0044	0.0029	0.0014	0.0015	0.0031	0.0046	0.0052	0.0000
	0.2	0.0000	0.0093	0.0081	0.0054	0.0027	0.0028	0.0061	0.0092	0.0104	0.0000
	0.4	0.0000	0.0166	0.0143	0.0095	0.0049	0.0053	0.0117	0.0182	0.0201	0.0000
2.0	0.1	0.0000	0.0017	0.0012	0.0007	0.0003	0.0003	0.0007	0.0013	0.0018	0.0000
	0.2	0.0000	0.0032	0.0023	0.0014	0.0006	0.0007	0.0015	0.0016	0.0037	0.0000
	0.4	0.0000	0.0059	0.0043	0.0025	0.0012	0.0012	0.0029	0.0050	0.0070	0.0000
3.0	0.1	0.0000	0.0007	0.0005	0.0003	0.0001	0.0001	0.0000	0.0005	0.0007	0.0000
	0.2	0.0000	0.0014	0.0009	0.0005	0.0002	0.0003	0.0006	0.0010	0.0014	0.0000
	0.4	0.0000	0.0026	0.0018	0.0010	0.0005	0.0005	0.0011	0.0020	0.0029	0.0000

§2・3 曳索の張力

1) 張力の水平分力

荷重が上方支点 B より任意の距離 $(1-k)l$ にあるとき、曳索張力の水平分力 H' の一般式はすでに (2・5) 式で与えられているが、これに (2・9), (2・11), (2・14) 式および (1・14) 式を用いると

$$H' = \omega l b \frac{\tan\theta}{1 + \tan\theta \tan\beta}$$

ただし

$$b = n + \frac{\epsilon(1-k)}{2}$$

$$\tan\theta = \tan\phi - 4s \frac{(1+2b)(1-2k)\{1+6(b+b^2)(k-k^2)\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}}$$

$$\tan\beta = \tan\phi + 4srk$$

$$r = \frac{1+2b}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}}$$

.....(2・16)

となる。ここでは $\tan\theta \geq 0$ の範囲を考えればよい。

$\tan\beta \geq \tan\theta$ (等号は $k=1$ のとき) であるから $\tan\theta \geq 0$ の範囲で

$$\frac{\tan\theta}{1 + \tan\theta \tan\beta} \leq \frac{\tan\theta}{1 + \tan^2\theta} = \frac{\sin 2\theta}{2}$$

が成立する。また両者の差を調べるために相対誤差を計算してみる。すなわち

$$\Delta = \left(\frac{\tan\theta}{1 + \tan^2\theta} - \frac{\tan\theta}{1 + \tan\theta \tan\beta} \right) \div \frac{\tan\theta}{1 + \tan\theta \tan\beta} = \frac{1 + \tan\theta \tan\beta}{1 + \tan^2\theta} - 1$$

と置き、 Δ を計算した例が(表2-2)である。

表2-2 相対誤差 Δ の値

ϕ	s	$\frac{k}{b}$	0.0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0
10°	0.03	1.0	(-0.0640)	0.0087	0.0107	0.0111	0.0125	0.0160	0.0198	0.0000
		3.0	(-0.3870)	0.0094	0.0107	0.0112	0.0129	0.0182	0.0269	0.0000
	0.07	1.0	(-0.3870)	0.0220	0.0093	0.0227	0.0320	0.0479	0.0635	0.0000
		3.0	(-0.8370)	0.0134	0.0104	0.0231	0.0329	0.0538	0.0854	0.0000
30°	0.03	1.0	0.0747	0.0489	0.0376	0.0304	0.0295	0.0368	0.0352	0.0000
		3.0	(-0.2062)	0.0465	0.0354	0.0303	0.0307	0.0377	0.0491	0.0000
	0.07	1.0	(-0.2062)	0.0878	0.0790	0.0696	0.0699	0.0792	0.0866	0.0000
		3.0	(-0.9308)	0.0870	0.0769	0.0694	0.0727	0.0916	0.1207	0.0000

() は $\tan\theta < 0$ の場合を示す

これによると、 ϕ, s が大きいときは近似度は少し落ちるが

$$\frac{\tan \phi}{1 + \tan \theta \tan \beta} \approx \frac{\tan \theta}{1 + \tan^2 \theta}$$

とみなせる。したがって (2・16) の近似値として

$$H' = \omega l b \frac{\tan \theta}{1 + \tan^2 \theta} = \frac{\omega l b \sin 2\theta}{2}$$

ただし

$$\tan \theta = \tan \phi - 4s \frac{(1+2b)(1-2k) \{1+6(b+b^2)(k-k^2)\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}} \dots\dots\dots(2\cdot17)$$

を用いることができる。誤差は安全側にある。

H' は荷重位置により変化するが、 H' の最大になる所は (2・16) 式より $\frac{dH'}{dk} = 0$ を満足する k を求めればよい。近似的には (2・17) 式を用いてよい。(2・17) 式より

$$\frac{d}{dk} \left(\frac{H'}{\omega l} \right) = \frac{-\frac{\epsilon}{2} \tan \theta}{1 + \tan^2 \theta} + \frac{b(1 - \tan^2 \theta)}{(1 + \tan^2 \theta)^2} \cdot \frac{d}{dk} \tan \theta$$

となる。 $\frac{d}{dk} \tan \theta > 0$ ($\tan \theta \geq 0$) であるから $\frac{d}{dk} \left(\frac{H'}{\omega l} \right) = 0$ を満足させる点は $1 - \tan^2 \theta > 0$ なる点である。すなわち $\tan \theta = 1$ の所より下方支点寄りにおいて H' は最大になるが近似的には $\tan \theta = 1$ なる点、いかえれば $\theta = \pi/4$ なるような点で H' は最大になるとみなしてよい。

$$H'_{max} = H'_{\theta=\pi/4} = \frac{\omega l}{2} \left\{ n + \frac{\epsilon(1 - k_{\theta=\pi/4})}{2} \right\}$$

もし全支間にわたって $\theta = \pi/4$ なる点がなければ、すなわち $\tan \theta_B = \tan \phi + 4s(1+2b) < 1$ であれば、 $k=1$ のとき (上方支点) 最大で

$$H'_{max} = H'_{k=1} = \omega l n \frac{\sin 2\theta_B}{2} = \frac{P}{2} \sin 2\theta_B$$

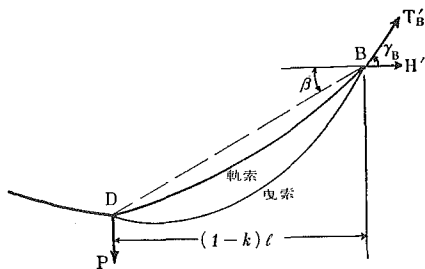


図2-3

である。

2) 曳索の張力

荷重が上方支点 B より $(1-k)l$ なる点にあるとき、曳索の B 点における張力 T_B' は

$$T_B' = H' \sqrt{1 + \tan^2 \gamma_B}$$

ただし

$$H' = \omega l b \frac{\tan \theta}{1 + \tan \theta \tan \beta}$$

$$b = n + \frac{\varepsilon(1-k)}{2}$$

$$\tan \theta = \tan \phi - 4s \frac{(1+2b)(1-2k) \{1+6(b+b^2)(k-k^2)\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}}$$

$$\tan \beta = \tan \phi + 4sk \frac{(1+2b)}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}}$$

$$\tan \gamma_B = \frac{2\{n+\varepsilon(1-k)\} \tan \theta \tan \beta + \varepsilon(1-k)}{2b \tan \theta}$$

.....(2.18)

または、曳索の中央垂下比を s' として

$$T_B' = \frac{\omega' l (1-k) \sqrt{1 + (\tan \beta + 4s')^2}}{8s'}$$

$$= \omega' l (1-k) \Phi'$$

ただし

$$s' = \frac{\omega' l (1-k)}{8H'} : \text{曳索中央垂下比}$$

$$\Phi' = \frac{\sqrt{1 + (\tan \beta + 4s')^2}}{8s'} : \text{最大張力係数}^{14)}$$

.....(2.19)

他は (2.18) 式と同じ

である。

ε の値は前に述べたとおり 0.1~0.4 であり、 ε の大きいときは n もまた大きいのが普通である。したがって荷重が上方支点に近いとき ($k=1$ に近いとき) は、 $n + \frac{\varepsilon(1-k)}{2} \doteq n$ である。またこのとき (2.6) 式より明らかなように $s' \doteq 0$ で曳索は直線状をなし、さらに $\tan \theta \doteq \tan \beta \doteq \tan \gamma_B$ となるから、結局 $k=1$ に近い範囲では (2.18) 式は

$$T_B' \doteq \frac{\omega l n \tan \theta}{1 + \tan^2 \theta} \cdot \sqrt{1 + \tan^2 \theta} = P \sin \theta$$

ただし

$$\tan \theta = \tan \phi - 4s \frac{(1+2n)(1-2k) \{1+6(n+n^2)(k-k^2)\}}{\{1+12(n+n^2)(k-k^2)\}^{3/2}}$$

.....(2.20)

となる。

T_B' は荷重が $\frac{dT_B'}{dk} = 0$ を満足する点に来たとき最大になるが、 n が ε に比較してあまりに小さくないときは (2.20) 式より明らかに θ の最大の点で T_B' は最大になる。 θ の最大の点は上方支点 $k=1$ の点であるから

$$\left. \begin{aligned} (T'_B)_{max} &= (T'_B)_{k=1} = P \sin \theta_B \\ \text{ただし} & \\ \tan \theta_B &= \tan \phi + 4s(1+2n) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2\cdot 21)$$

n が ϵ に比較して相当に小さいとき、例えば空搬器側を考えた場合など、往々にして B 点より下方に搬器があるときに曳索張力が最大になることがあるが、これは実際の設計では最大張力問題の対象にはならない。

また式の上では $\tan \theta = 0$ のとき $H' = 0$ であるが、 $s' = \infty$, $\tan \gamma_D = -\infty$ となり $T'_B = \infty$ になる。この状態は、 D 点および B 点で曳索を真下に無限に長く吊下げたのと同一であり実際の索道では起こり得ないことは §2・2 で述べたとおりである。

§2・4 軌索の張力

1) 下方支点側水平張力 H_1

(1・9) 式より

$$H_1 = \frac{wl^2}{2f_D} (1+2b)(k-k^2) \dots\dots\dots (2\cdot 22)$$

であり、これに (2・8) 式を代入すると

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= \frac{wl\sqrt{1+12(b+b^2)}(k-k^2)}{8s} \\ \text{ただし} & \\ b &= n + \frac{\epsilon(1-k)}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2\cdot 23)$$

が得られる。

H_1 は荷重の移動につれて変化し

$$\frac{d}{dk} \left(\frac{H_1}{wl} \right) = \frac{3\{(b+b^2)(1-2k) - \frac{\epsilon}{2}(1+2b)(k-k^2)\}}{4s\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}} = 0 \dots\dots\dots (2\cdot 24)$$

を満足する k に相当する所に荷重が来たときに最大になる。

(2・24) 式を満足する k を k_H とし、これを図示したのが (図2-4) である。

k_H の値は、曳索と軌索の重量比 ϵ が大きくなるほど、また固定荷重比 n が小さくなるほど小さな値になるが一般に 0.5 に近い値である。いま若干例について $(H_1/wl)_{k=k_H} = (H_1/wl)_{max}$

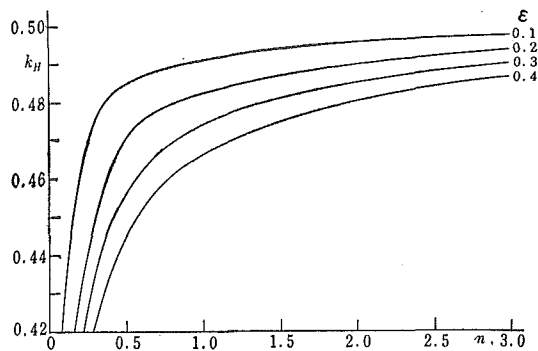


図2-4 $\frac{d}{dk} \left(\frac{H_1}{wl} \right) = 0$ を満足する k_H

表2-3 $\left(\frac{H_1}{wl}\right)_{max}$ と $\left(\frac{H_1}{wl}\right)_{k=0.5}$

s	n	ε	$\left(\frac{H_1}{wl}\right)_{max}$		$\left(\frac{H_1}{wl}\right)_{k=0.5}$	
			k_H	$\left(\frac{H_1}{wl}\right)_{k=k_H}$	k	$\left(\frac{H_1}{wl}\right)_{k=0.5}$
0.04	0.5	0.1	0.484	5.7692	0.5	5.7638
		0.2	0.470	5.9022	0.5	5.8942
		0.4	0.444	6.1849	0.5	6.1555
	1.0	0.1	0.491	8.4021	0.5	8.3951
		0.2	0.482	8.5388	0.5	8.5338
		0.4	0.466	8.8184	0.5	8.8001
	2.0	0.2	0.490	13.8932	0.5	13.8904
		0.3	0.483	14.0309	0.5	14.0214
		0.4	0.480	14.1703	0.5	14.1594
0.06	0.5	0.1	0.484	3.8462	0.5	3.8425
		0.2	0.470	3.9348	0.5	3.9294
		0.4	0.444	4.1233	0.5	4.1037
	1.0	0.1	0.491	5.6014	0.5	5.5967
		0.2	0.482	5.6925	0.5	5.6892
		0.4	0.466	5.8789	0.5	5.8667
	2.0	0.2	0.490	9.2621	0.5	9.2603
		0.3	0.483	9.3539	0.5	9.3476
		0.4	0.480	9.4469	0.5	9.4396

と $(H_1/wl)_{k=0.5}$ を計算し比較してみると (表2-3) のとおりになる。

問題にしている一方曳索の場合においては n は ϵ に比べて大きいのが普通であるから (表2-3) の計算例でわかるように、 $(H_1/wl)_{max}$ と $(H_1/wl)_{k=0.5}$ の差は実用上問題にするほど大きくない。したがって実用的には、 H_1 の最大値として $k=0.5$ のときの H_1 の値を代用してさしつかえない。すなわち

$$(H_1)_{max} \doteq (H_1)_{k=0.5} = \frac{wl\sqrt{1+3(b_m+b_m^2)}}{8s} \dots\dots\dots(2\cdot25)$$

ただし

$$b_m = n + \frac{\epsilon}{4}$$

である。

荷重降下限度は $\tan\theta=0$ なる点 ($k=k_\theta$ の点) であるから、支間傾斜角、固定荷重比および曳索の太さなどの相互関係で、(2\cdot24) 式を満足する k ($k=k_H$) の点まで荷重が到達しない場合が考えられる。このような場合、理論的には $(H_1)_{max}$ として $(H_1)_{k=k_\theta}$ を使い、荷重が k_H の点を通過できる場合に $(H_1)_{max}$ として $(H_1)_{k=k_H}$ を用うべきである。すなわち

(1) $k_0 \geq k_H$ のときは $(H_1)_{max} = (H_1)_{k=k_0}$

(2) $k_H > k_0$ のときは $(H_1)_{max} = (H_1)_{k=k_H}$

とすべきである。しかし、(1)の場合および(2)の場合のうち $k_H \approx k_0$ のときは、 $\tan\theta$ は 0 または 0 に近くなるから (2・6) 式より曳索の垂下量が非常に大きくなり、“鋼索重量は水平方向に等分布している”¹³⁾ ということ为基础とした拋物線索理論式は誤差が大きい。また実際面からは §2・2 で述べたとおり、曳索は地面に接してしまう。いずれにしても、このような場合には (2・25) 式には相当の誤差が入つて来ることを覚悟しなければならない。そして、その誤差は地形に左右されることにもなり把握は困難である。現実には、一方曳索の索道は一般に支間傾斜角が大きく、荷重は少くとも k_H の点を余裕をもつて通過する場合が多いから (2・25) 式を実用式としてよい。

2) 上方支点側水平張力 H_2

(1・1) 式および (2・2) 式より

$$H_2 = H_1 - H' \dots\dots\dots(2\cdot26)$$

したがつて、 H' として (2・16) 式を、 H_1 として (2・23) 式を用いると

$$H_2 = \frac{wl\sqrt{1+12(b+b^2)(k-k^2)}}{8s} - \frac{wlb \tan\theta}{1+\tan\theta \tan\beta}$$

ただし

$$b = n + \frac{\varepsilon(1-k)}{2} \dots\dots\dots(2\cdot27)$$

$$\tan\theta = \tan\phi - 4s \frac{(1+2b)(1-2k) \{1+6(b+b^2)(k-k^2)\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}}$$

$$\tan\beta = \tan\phi + 4sk \frac{1+2b}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}}$$

を得る。

あるいは、(1・10) 式および (1・26) 式より

$$H_2 = \frac{wl^2}{2f_D} (1+2a)(k-k^2) \dots\dots\dots(2\cdot28)$$

$$f_D = \frac{4sl(1+2a)(k-k^2)}{\sqrt{1+12(a+a^2)(k-k^2)}} (1+K_1) \dots\dots\dots(2\cdot29)$$

であるから、一般的に

$$H_2 = \frac{wl\sqrt{1+12(a+a^2)(k-k^2)}}{8s(1+K_1)} \dots\dots\dots(2\cdot30)$$

を得られる。実用式として

$$H_2 = \frac{wl\sqrt{1+12(a+a^2)(k-k^2)}}{8s} \dots\dots\dots(2\cdot31)$$

を採用すれば、前に I, §1・3 で述べたとおり K_1 は $k=0\sim 0.9$ の範囲で 0 に近い値で

あるから (2・31) 式は実用的には十分正確である。

一方曳索の場合に (2・31) 式を利用すると、既に (2・4) 式および (2・14) 式によつて b および $\tan\theta$ が与えられているから a も (1・18) 式から求めることができる。したがつて、 $k=0\sim 0.9$ で

$$H_2 = \frac{wl\sqrt{1+12(a+a^2)(k-k^2)}}{8s}$$

ただし

$$a = b(1-c)$$

$$b = n + \frac{\varepsilon(1-k)}{2}$$

$$c = 4sr \frac{\tan\theta}{1+\tan\theta\tan\beta}$$

$$\tan\theta = \tan\phi - 4s \frac{(1+2b)(1-2k)\{1+6(b+b^2)(k-k^2)\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}}$$

$$\tan\beta = \tan\phi + 4srk$$

$$r = \frac{1+2b}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}}$$

.....(2・32)

である。一方曳索の場合は $\tan\theta \geq 0$ の範囲を考えればよいから、 K_1 を省略した誤差は安全側にあり上方支点に近づくほど大きい。

さらに (2・32) 式において

$$c = 4sr \frac{\tan\theta}{1+\tan\theta\tan\beta}$$

の代わりに

$$c = 4s \frac{\tan\theta}{1+\tan^2\theta} = 2s \sin 2\theta$$

を用いると、その差 $4c$ は

$$4c = 4s \left\{ r \frac{\tan\theta}{1+\tan\theta\tan\beta} - \frac{\tan\theta}{1+\tan^2\theta} \right\} = 4s \frac{\tan\theta}{1+\tan\theta\tan\beta} \{r - (1+D)\}$$

$$\left(\text{ただし } D = \frac{\tan\theta}{1+\tan^2\theta} - 1 \right)$$

となる。(附図 I) の r 値と (表2-2) で示される D の値を勘案すれば、 $b \geq 0.2$ ならば (普通十分満足する) $r - (1+D) > 0$ 、したがつて $4c > 0$ である。

ゆえに、(2・32) 式の c として $c = 2s \sin 2\theta$ を用いれば a の値を大きく見積ることになるから、そのための誤差は安全側に出る。しかし両支点に非常に近い所では誤差が大きくなりすぎるから $k=0.1\sim 0.9$ に適用することにする。索道の設計上から見れば、上記範囲で

十分であると考えられる。

また上記範囲で軌跡曲線の勾配は (2・15) 式を用いてよい。

結局、(2・32) 式の実用的近似式として次の式が得られる。

$0.1 \leq k \leq 0.9$ の範囲で

$$H_2 = \frac{wl\sqrt{1+12(a+a^2)(k-k^2)}}{8s}$$

ただし

$$a = b(1-2s \sin 2\theta)$$

$$b = n + \frac{\varepsilon(1-k)}{2}$$

$$\tan\theta = \tan\phi - 4s(1-2k)$$

$$\left. \begin{array}{l} \dots\dots\dots(2\cdot33) \end{array} \right\}$$

H_2 を最大にする k の値は (2・27) 式を用いて

$$\frac{d}{dk} \left(\frac{H_2}{wl} \right) = \frac{d}{dk} \left(\frac{H_1}{wl} \right) - \left\{ \frac{\tan\theta}{1+\tan\theta\tan\beta} \frac{db}{dk} + b \frac{d}{dk} \left(\frac{\tan\theta}{1+\tan\theta\tan\beta} \right) \right\} = 0 \dots\dots\dots(2\cdot34)$$

より求められる。

しかし、 H_2 を最大にする k の値を高い精度で求めてみても、実用的にはそれほど価値がなくまた必要でもないからここでは概略値を求めることにする。

上式中

$$\frac{d}{dk} \left(\frac{H_1}{wl} \right) = \frac{3\{(b+b^2)(1-2k) - \varepsilon/2 \cdot (1+2b)(k-k^2)\}}{4s \{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}}$$

$$\frac{dk}{dk} = -\frac{\varepsilon}{2}$$

$$\left. \dots\dots\dots(2\cdot35) \right\}$$

なることは (2・23), (2・24) 式で明瞭である。

次に (2・34) 式を満足する k を k_H とすると普通 $0.4 < k_H < 0.6$ であろうことが予想される。

$0.4 < k < 0.6$ なる k の範囲では、(2・15) 式より

$$\tan\theta = \tan\phi - 4s(1-2k)$$

でありさらに

$$\tan\beta = \tan\phi + 4srk$$

における r (増垂係数) は (附図 I) で明らかなようにほとんど変化なく一定値とみなし得る。以上の事柄を考慮すると、近似的に

$$\frac{d}{dk} \left(\frac{\tan\theta}{1+\tan\theta\tan\beta} \right) = \frac{4s(2-r\tan^2\theta)}{(1+\tan\theta\tan\beta)^2} \dots\dots\dots(2\cdot36)$$

が成立する。

(2・34) 式に (2・35) 式および (2・36) 式を代入して、これを満足するような k の値を

求めれば、その k が H_2 を最大にする k の値 k_H の近似値である。(図2-5)はこのようにして求めた k_H を図示したものである。

(図2-5)は索道諸元の一部条件のときの結果を示したものであるが、他の条件のときも同様である。これによると、 H_2 の最大になる荷重位置は常に支間中央 ($k=0.5$) よりやや下方支点側 ($k<0.5$) に寄るが、 ϕ が大きくなるほど、 s が小さくなるほど、および ε が小さくなるほど中央 ($k=0.5$) に近くなることがわかる。

$\tan\theta=0$ なる点 k_0 と k_H の関係は H_1 のときと同様である。

H_2 の場合も H_1 の場合と同様に、実用上は $k=0.5$ のときの H_2 の値 $(H_2)_{k=0.5}$ を H_2 の最大値とみなしてよい。 $k=0.5$ とすると (添字 m は $k=0.5$ のときの値を意味する)

$$b_m = n + \frac{\varepsilon}{4}$$

$$\tan\theta_m = \tan\phi$$

$$\tan\beta_m = \tan\phi + 2sr_m$$

$$r_m = \frac{1+2b_m}{\sqrt{1+3(b_m+b_m^2)}}$$

となるから (2.27) 式より

$$(H_2)_{max} = (H_1)_{k=0.5} - wlb_m \frac{\tan\phi}{1+\tan\phi \tan\beta_m} \dots\dots\dots(2.37)$$

あるいは (2.32) 式より

$$(H_2)_{max} = \frac{wl\sqrt{1+3(a_m+a_m^2)}}{8s}$$

ただし

$$a_m = b_m(1-c_m)$$

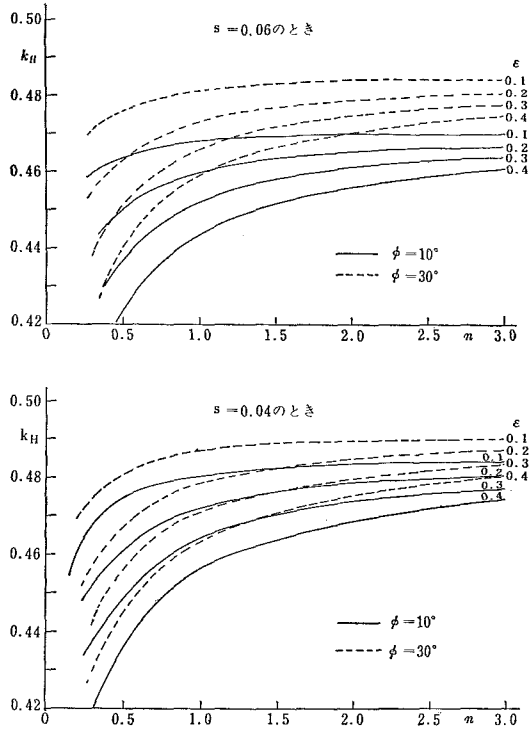


図2-5 $\frac{d}{dk}\left(\frac{H_2}{wl}\right)=0$ なる k_H

}(2.38)

$$c_m = 4sr_m \frac{\tan\phi}{1 + \tan\phi \tan\beta_m}$$

さらにあるいは (2.33) 式より

$$(H_2)_{max} = \frac{wl\sqrt{1+3(a_m+a_m^2)}}{8s}$$

ただし

$$a_m = (n + \frac{\epsilon}{4})(1 - 2s \sin 2\phi)$$

}(2.39)

である。

3) 軌索最大張力

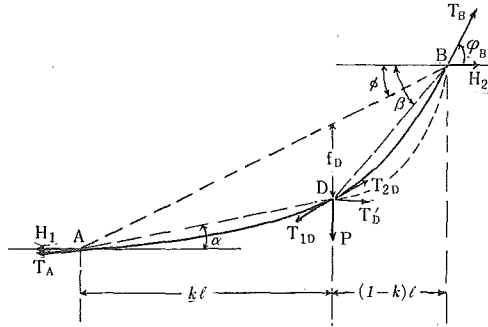


図2-6

|Δ| が小さければ

$$\sqrt{1 + (\tan\beta + \Delta)^2} \doteq \sec\beta(1 + \Delta \sin\beta \cos\beta + \frac{\Delta^2}{2} \cos^4\beta)$$

とすることができるから、これを用いると

$$\begin{aligned} T_B &= H_2 \sqrt{1 + \left\{ \tan\beta + \frac{w(1-k)l}{2H_2} \right\}^2} \\ &\doteq H_2 \sec\beta \left[1 + \frac{w(1-k)l}{2H_2} \sin\beta \cos\beta + \frac{1}{2} \left\{ \frac{w(1-k)l}{2H_2} \right\}^2 \cos^4\beta \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{2D} &= H_2 \sqrt{1 + \left\{ \tan\beta - \frac{w(1-k)l}{2H_2} \right\}^2} \\ &\doteq H_2 \sec\beta \left[1 - \frac{w(1-k)l}{2H_2} \sin\beta \cos\beta + \frac{1}{2} \left\{ \frac{w(1-k)l}{2H_2} \right\}^2 \cos^4\beta \right] \end{aligned}$$

ゆえに

$$T_B - T_{2D} \doteq w(1-k)l \sin\beta \dots\dots\dots(2.40)$$

ここで

$$w(1-k)l = qL_2 = q(1-k)l \sec \beta$$

(q : 軌索単位長当り重量, L_2 : \widehat{BD} の索長)

$$\tan \beta = \tan \phi + \frac{s_D}{(1-k)}$$

($s_D = \frac{f_D}{l}$: 荷重点垂下比)

であるから (2.40) 式は

$$\begin{aligned} T_B - T_{2D} &= q(1-k)l \tan \beta \\ &= q\{(1-k)l \tan \phi + f_D\} \dots\dots\dots (2.41) \end{aligned}$$

同様に

$$\begin{aligned} T_{1D} - T_A &= qkl \tan \alpha \\ &= q\{kl \tan \phi - f_D\} \dots\dots\dots (2.42) \end{aligned}$$

である。

(2.41) 式および (2.42) 式は近似式であるが、垂曲線索理論では全く同じ式が正確な式⁷⁾として求められる。

$\phi \geq 0$, $T_{1D} = T_{2D}$ であるから (2.41), (2.42) 式より明らかに $T_B \geq T_{2D}$, $T_B \geq T_A$ 。したがって軌索の最大張力を問題にする際は、 T_B のみに注目すれば十分である。

T_B の一般式は

$$T_B = H_2 \sec \varphi_B = H_2 \sqrt{1 + \left(\frac{dY}{dX}\right)_{x=0}^2}$$

ただし

$$H_2 = \frac{wl \sqrt{1 + 12(a+a^2)(k-k^2)}}{8s}$$

$$\left(\frac{dY}{dX}\right)_{x=0} = \tan \varphi_B = \tan \phi + \frac{wl}{2H_2}(1+2ka)$$

φ_B : \widehat{BD} 索の B 点における傾斜角

} (2.43)

T_B の最大になるのは

$$\frac{d}{dk} \left(\frac{T_B}{wl} \right) = 0$$

を満足する k の位置に荷重のあるときである。

$$\frac{d}{dk} \left(\frac{T_B}{wl} \right) = \frac{\left\{ 1 + \left(\frac{dY}{dX}\right)_0^2 \right\} \cdot \frac{d}{dk} \left(\frac{H_2}{wl} \right) + \left(\frac{H_2}{wl} \right) \left(\frac{dY}{dX}\right)_0 \cdot \frac{d}{dk} \left(\frac{dY}{dX}\right)_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{dY}{dX}\right)_0^2}}$$

であるから

$$\sqrt{1 + \left(\frac{dY}{dX}\right)_0^2} \frac{d}{dk} \left(\frac{T_B}{wl}\right) = f(k)$$

と置き、 $f(k)$ の演算を行なうと、

$$f(k) = \left\{ 1 + \frac{wl(1+2ka)}{2H_2} \tan\phi + \tan^2\phi \right\} \frac{d}{dk} \left(\frac{H_2}{wl}\right) \\ + \left(a + k \frac{da}{dk} \right) \left\{ \tan\phi + \frac{wl(1+2ka)}{2H_2} \right\} \dots\dots\dots (2\cdot44)$$

となる。

$f(k)=0$ を満足する k の位置に荷重があるときに、 T_B は最大になるわけであるが、いま $\frac{d}{dk} \left(\frac{H_2}{wl}\right) = 0$ を満足する k の値、すなわち (2・34) 式から求めた k_H を (2・44) 式に入れて見ると

$$f(k_H) = \left[\left(a + k \frac{da}{dk} \right) \left\{ \tan\phi + \frac{wl(1+2ka)}{2H_2} \right\} \right]_{k=k_H}$$

となる。ここで

$$a = b(1-c)$$

$$c = 4sr \frac{\tan\theta}{1 + \tan\theta \tan\beta}$$

$$\frac{da}{dk} = - \left\{ \frac{\varepsilon}{2} (1-c) + b \frac{dc}{dk} \right\}$$

であるが、 k_H は (図2-5) で見られるとおり普通 $0.4 < k_H < 0.5$ であるから、この k の範囲では (2・36) 式が用いられる。したがって

$$\tan\theta = \tan\phi - 4s(1-2k)$$

$$\frac{dc}{dk} = 16s^2r \frac{2 - r \tan^2\theta}{(1 + \tan\theta \tan\beta)^2}$$

ゆえに

$$\left\{ \left(a + k \frac{da}{dk} \right) \right\}_{k=k_H} = \left[b(1-c) - k \left\{ \frac{\varepsilon}{2} (1-c) + 16s^2rb \frac{2 - r \tan^2\theta}{(1 + \tan\theta \tan\beta)^2} \right\} \right]_{k=k_H} \\ = \left[(1-c) \left\{ n + \frac{\varepsilon(1-2k)}{2} \right\} - 16s^2rbk \frac{2 - r \tan^2\theta}{(1 + \tan\theta \tan\beta)^2} \right]_{k=k_H}$$

となる。

$$0.4 < k < 0.5 \text{ の範囲で}$$

$$0 \leq \tan\theta < \tan\phi$$

$$1.0 < r < 1.2$$

$$0 \leq c \leq 4sr \frac{\tan\theta}{1 + \tan^2\theta} < 2sr$$

なることを考慮すれば

$$\left\{ \left(a + k \frac{da}{dk} \right) \right\}_{k=k_H} > n(1-2sr) - 16s^2rb > n(1-2.4s) - 20s^2 \left(n + \frac{\varepsilon}{2} \right)$$

したがって $n > 0.1$, $s = 0.03 \sim 0.07$ で

$$\left\{ a + k \frac{da}{dk} \right\}_{k=k_H} > 0$$

ゆえに $f(k_H) > 0$ である。すなわち $k = k_H$ では T_B は増加の状態にあることになる。

つぎに、 $\frac{d}{dk} \left(\frac{H_2}{wl} \right)$ は (2.34) 式からも得られるが $0.4 < k < 0.6$ として H_2 に (2.32) 式を用いると

$$\frac{d}{dk} \left(\frac{H_2}{wl} \right) = \frac{3 \left\{ (a+a^2)(1-2k) + (1+2a)(k-k^2) \frac{da}{dk} \right\}}{4s \{ 1 + 12(a+a^2)(k-k^2) \}^{1/2}}$$

であり

$$\frac{da}{dk} = - \left\{ \frac{\varepsilon}{2} (1-c) + 16s^2rb \frac{2-r \tan^2 \theta}{(1+\tan \theta \tan \beta)^2} \right\}$$

であるから、少なくとも $k \geq 0.5$ ならば $\frac{d}{dk} \left(\frac{H_2}{wl} \right) < 0$ となる。さらに (2.44) 式の $f(k)$ において

$$\left\{ 1 + \frac{wl(1+2ka)}{2H_2} \tan \phi + \tan^2 \phi \right\} > 1$$

なることは明らかであるから、結局 $f(k) = 0$ を満足する k (T_B を最大にする k) は k_H より上方支点側にあつて、支間中央 ($k = 0.5$) 付近にあることがわかる。

$k = 0.5$ のとき T_B が最大になるとみなすと

$$(T_B)_{max} \doteq (T_B)_{k=0.5} = (H_2)_{k=0.5} \sqrt{1 + \left(\frac{dY}{dX} \right)_{X=0, k=0.5}^2}$$

であり、この値はまた軌索の最大張力 T_{max} でもある。(2.38) 式より

$$(H_2)_{k=0.5} = \frac{wl \sqrt{1+3(a_m+a_m^2)}}{8s}$$

さらに

$$\left(\frac{dY}{dX} \right)_{X=0, k=0.5} = \tan \phi + \frac{4s(1+a_m)}{\sqrt{1+3(a_m+a_m^2)}}$$

ゆえに

$$T_{max} = (T_B)_{max} = \frac{wl \sqrt{1+3(a_m+a_m^2)}}{8s} \sqrt{1 + \left\{ \tan \phi + \frac{4s(1+a_m)}{\sqrt{1+3(a_m+a_m^2)}} \right\}^2}$$

あるいは

$$T_{max} = wl(1+a_m)\Phi$$

ただし

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{\sqrt{1 + \{\tan\phi + 4sZ\}^2}}{8sZ} : \text{最大張力係数} \\ a_m &= b_m(1 - c_m) = \left(n + \frac{\varepsilon}{4}\right)(1 - c_m) \\ c_m &= 4sr_m \frac{\tan\phi}{1 + \tan\phi(\tan\phi + 2sr_m)} \\ r_m &= \frac{1 + 2b_m}{\sqrt{1 + 3(b_m + b_m^2)}} \\ Z &= \frac{1 + a_m}{\sqrt{1 + 3(a_m + a_m^2)}} : \text{垂下比当値係数}^{14)} \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \dots\dots\dots(2\cdot45) \end{array} \right\}$$

(2・39) 式を用いると

$$\begin{aligned} T_{max} &= \omega l(1 + a_m)\phi \\ \text{ただし} \\ a_m &= \left(n + \frac{\varepsilon}{4}\right)(1 - 2s \sin 2\phi) \\ \phi &= \frac{\sqrt{1 + \{\tan\phi + 4sZ\}^2}}{8sZ} \\ Z &= \frac{1 + a_m}{\sqrt{1 + 3(a_m + a_m^2)}} \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \dots\dots\dots(2\cdot46) \end{array} \right\}$$

を得る。

(2・45) 式および (2・46) 式は、従来の加藤・堀の固定荷重の場合の最大張力式と全く同形であつて、ただ n が a_m に代わるだけであるから式中の最大張力係数 ϕ 、垂下比当値係数 Z の算出図表はそのまま利用できるので便利である。

加藤・堀の式で、一方曳索の場合の最大張力を求め（曳索重量の半分を荷重に加えて）、それを $(T_K)_{max}$ とすると

$$(T_K)_{max} = \omega l(1 + n_0)\phi_K$$

ただし

$$n_0 = n + \frac{\varepsilon}{4} \quad \phi_K = \frac{\sqrt{1 + (\tan\phi + 4sZ)^2}}{8sZ} \quad Z = \frac{1 + n_0}{\sqrt{1 + 3(n_0 + n_0^2)}}$$

である。(2・46) 式と比較すると常に $(T_K)_{max}$ が大きく、その差は $\phi_K = \phi$ とみなせるから

$$\begin{aligned} (T_K)_{max} - T_{max} &= \omega l(n_0 - a_m)\phi = 2s\omega l \left(n + \frac{\varepsilon}{4}\right)\phi \sin 2\phi \\ &= 2s \left(P + \frac{W'}{4}\right)\phi \sin 2\phi \end{aligned}$$

ただし P : 荷重

$W' = w'l$: 全支間に曳索があるとみなしたときの曳索全重量である。

§2・5 実用式の総括

以上の結果から、一方曳索の場合について、索道設計の基礎となるべき実用式を取りまとめると、次のとおりである。

[記号]

a, b : 下方および上方総合荷重比 (添字 m は中央 $k=0.5$ のときの値を意味する)

$n = \frac{P}{wl}$: 固定荷重比

l : 支間水平距離

k : 荷重位置係数

w : 軌索重量が水平方向に等分布していると考えたときの水平方向等分布重量

w' : 同じく曳索の水平方向等分布重量

$\epsilon = \frac{w' - q'}{w - q}$: 曳索と軌索の単位長さ重量比

q', q : 曳索と軌索の単位長さ当り重量

s : 無負荷原軌索の中央垂下比

$\tan\phi$: 支間勾配 $\tan\phi \geq 0$

$\tan\theta$: 荷重軌跡曲線の k における勾配

$\tan\beta$: 荷重点と上方支点との勾配

1) 総合荷重比

(1) 上方総合荷重比

$$b = n + \frac{\epsilon(1-k)}{2} \dots\dots\dots (2 \cdot 4)$$

(2) 下方総合荷重比

$$a = b(1-c)$$

ただし

$$c = 4sr \frac{\tan\theta}{1 + \tan\theta \tan\beta}$$

$\tan\theta, \tan\beta$: 後出

}(2・32)

2) 荷重点垂下比および荷重点軌跡

(1) 荷重点垂下比 s_D

$$s_D = \frac{4s(1+2b)(k-k^2)}{\sqrt{1+12(b+b^2)(k-k^2)}} \\ = 4sr(k-k^2)$$

}(2・9)

ただし

$$r = \frac{1+2b}{\sqrt{1+12(b+b^2)(k-k^2)}} : \text{増垂係数(附図 I)}$$

(2) 荷重点軌跡 (下方支点を原点として)

$$y = x \tan \phi - \frac{4sl(1+2b)\left(\frac{x}{l} - \frac{x^2}{l^2}\right)}{\sqrt{1+12(b+b^2)\left(\frac{x}{l} - \frac{x^2}{l^2}\right)}} \dots\dots\dots (2 \cdot 10)$$

(3) 軌跡曲線の勾配

$$\tan \theta = \tan \phi - \frac{4s(1+2b)(1-2k)\{1+6(b+b^2)(k-k^2)\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}} \dots\dots\dots (2 \cdot 14)$$

(附図 II)

3) 曳索の張力

(1) 張力の水平分力 H'

$$H' = wlb \frac{\tan \theta}{1 + \tan \theta \tan \beta}$$

ただし

$$\tan \beta = \tan \phi + 4srk$$

または

$$H' = wlb \frac{\sin 2\theta}{2} \dots\dots\dots (2 \cdot 17)$$

(2) 上方支点における曳索張力 T_B'

$$T_B' = r w' l (1-k) \Phi'$$

ただし

$$\Phi' = \frac{\sqrt{1 + (\tan \beta + 4s')^2}}{8s'} : \text{最大張力係数}$$

$$s' = \frac{w'l(1-k)}{8H'} : \text{曳索の中央垂下比}$$

$$\tan \beta = \tan \phi + 4srk$$

$$r : \text{増垂係数} \quad (\text{附図 I})$$

(3) 曳索の最大張力

$$(T_B')_{max} = P \sin \theta_B$$

ただし

$$\tan \theta_B = \tan \phi + 4s(1+2r)$$

4) 軌索の張力

(1) 下方支点側水平張力 H_1

$$H_1 = \frac{\omega l \sqrt{1 + 12(b + b^2)(k - k^2)}}{8s} \dots\dots\dots(2 \cdot 23)$$

(2) 上方支点側水平張力 H_2

$$H_2 = \frac{\omega l \sqrt{1 + 12(b + b^2)(k - k^2)}}{8s} - \omega l b \frac{\tan \theta}{1 + \tan \theta \tan \beta} \dots\dots\dots(2 \cdot 27)$$

特に $0.1 \leq k \leq 0.9$ に対し

$$H_2 = \frac{\omega l \sqrt{1 + 12(a + a^2)(k - k^2)}}{8s} \dots\dots\dots(2 \cdot 33)$$

ただし

$$a = b(1 - 2s \sin 2\theta)$$

$$\tan \theta = \tan \phi - 4s(1 - 2k)$$

(3) 軌索最大張力

$$T_{max} = \omega l(1 + a_m)\Phi$$

ただし

$$a_m = \left(n + \frac{\epsilon}{4}\right)(1 - 2s \sin 2\phi)$$

$$\Phi = \frac{\sqrt{1 + (\tan \phi + 4sZ)^2}}{8sZ} : \text{最大張力係数}$$

$$Z = \frac{1 + a_m}{\sqrt{1 + 3(a_m + a_m^2)}} : \text{垂下比当値係数}$$

\dots\dots\dots(2 \cdot 46)

5) 計算例

- 条件：支間傾斜角 $\phi = 20^\circ$
- 軌索中央垂下比 $s = 0.06934$
- (軌索長 $L = l \sec \phi \times 1.01$)
- 固定荷重比 $n = P/\omega l = 1.0$
- 曳索軌索単位長さ重量比 $\epsilon = 0.1$
- 荷重位置係数 $k = 0.5$

使用公式： $H_1 \dots\dots(2 \cdot 23)$ $H_2 \dots\dots(2 \cdot 33)$ $H' \dots\dots(2 \cdot 17)$ $T_{max} \dots\dots(2 \cdot 46)$

(表2-4)は計算結果であるが、比較のために従来の加藤式による値と、逐次近似法による堀式¹⁷⁾の値を併記した。

計算結果を見ると、本解法による値は、堀の解法による値の第2～第4近似値程度の値である。したがって堀の解法が、この種索道の拋物線索理論による正確値を与えるものとするれば、筆者の解法は計算が非常に簡単な上に精度の高い値——その差は少なくとも実用的には何も問題にならない程度の値——を与えることがわかる。計算結果において $H_1 = H_2 + H'$ を満足していないのは、誤差が安全側に出るような実用式を用いたためである。

表2-4 計 算 例

計 算 式		$\frac{H_1}{wl}$	$\frac{H_2}{wl}$	$\frac{H'}{wl}$	$\frac{T'_{max}}{wl}$
筆 者 の 式		4.846	4.547	0.329	5.270
堀 式	第 4 近 似 値	4.844	4.534	0.310	5.234
	第 2 近 似 値	4.850	4.550		
加藤式	曳 索 無 視	4.769	4.769	—	5.498
	曳索長の半分の重量を加える	4.846	4.846	—	5.586

Ⅲ 二方曳索の場合

§3・1 上方総合荷重比

1) 理論式の誘導

ここで用いる記号は一方曳索の場合とほとんど同じものであるが、改めて一括説明しておく。

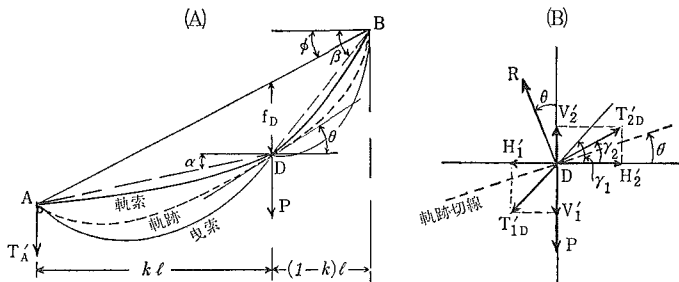


図3-1

〔記 号〕 (図3-1) 参照

A : 下方支点

B : 上方支点

D : 荷重載荷点

l : 支間水平距離

k : 荷重位置係数

ϕ : 支間傾斜角

α, β : 下方支点荷重点間傾斜角および上方支点荷重点間傾斜角

P : 荷重

R : D 点における軌索張力の合力

θ : R が鉛直線となす角, あるいは荷重点軌跡の D 点における切線角

f, s : 軌索の無負荷時中央垂下量, 同垂下比

f_D, s_D : 軌索の荷重点垂下量, 同垂下比

w, w' : 軌索および曳索の重量が水平方向に等分布していると考えたときの水平方向等分布重量

$n = P/wl$: 固定荷重比

$\varepsilon = w'/w$: 曳索と軌索の単位長さ重量比

T'_{1D}, T'_{2D} : D 点における下方曳索および上方曳索の張力

H'_1, H'_2 : 下方曳索および上方曳索の張力の水平分力

V'_1, V'_2 : D 点における上方曳索および上方曳索の張力の垂直分力

γ_1, γ_2 : T'_{1D}, T'_{2D} の傾斜角

T'_A : 曳索の下方調整重錘量 (下方支点における曳索の張力)

曳索の上下各支点は軌索の上下支点と一致しているものと仮定すると、曳索の平衡条件より

$$\left. \begin{aligned} V'_1 &= T'_1 b \sin \gamma_1 = H'_1 \tan \alpha + \frac{w'kl}{2} \\ V'_2 &= T'_2 b \sin \gamma_2 = H'_2 \tan \beta - \frac{w'(1-k)l}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3 \cdot 1)$$

また

$$\left. \begin{aligned} H'_1 &= T'_1 b \cos \gamma_1 \\ H'_2 &= T'_2 b \cos \gamma_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3 \cdot 2)$$

であり、D点における力の平衡から

$$\left. \begin{aligned} R \sin \theta + T'_1 b \cos \gamma_1 &= T'_2 b \cos \gamma_2 \\ R \cos \theta + T'_2 b \sin \gamma_2 &= T'_1 b \sin \gamma_1 + P \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3 \cdot 3)$$

である。これらの式から

$$R \cos \theta (1 + \tan \theta \tan \beta) = P + \frac{w'l}{2} - H'_1 (\tan \beta - \tan \alpha)$$

すなわち

$$b = n + \frac{\varepsilon}{2} - \frac{H'_1}{w'l} (\tan \beta - \tan \alpha) \dots\dots\dots (3 \cdot 4)$$

を得る。

曳索の下方調整重錘量を T'_A とすると

$$T'_A = H'_1 \sqrt{1 + \left(\tan \alpha - \frac{w'kl}{2H'_1} \right)^2}$$

であるから

$$\left. \begin{aligned} H'_1 &= w'lF \frac{\frac{k}{2F} \tan \alpha + \sqrt{1 + \tan^2 \alpha - \left(\frac{k}{2F} \right)^2}}{1 + \tan^2 \alpha} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3 \cdot 5)$$

ただし

$$F = \frac{T'_A}{w'l}$$

であり、さらに (1.15) 式 (1.16) 式および (1.31) 式の

$$\tan \alpha = \tan \phi - \frac{s_D}{k}$$

$$\tan \beta - \tan \alpha = \frac{s_D}{k - k^2}$$

$$s_D = \frac{4s(1+2b)(k-k^2)}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}}$$

を用いると、(3・4) 式は

$$b = n + \frac{\varepsilon}{2} - 4s\varepsilon F \frac{1+2b}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}} \frac{\frac{k}{2F}\tan\alpha + \sqrt{1+\tan^2\alpha - \left(\frac{k}{2F}\right)^2}}{1+\tan^2\alpha} \dots\dots\dots(3\cdot6)$$

ただし

$$\tan\alpha = \tan\phi - 4s(1-k) \frac{1+2b}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}}$$

$$F = \frac{T_A'}{w'l}$$

となる。

2) 実用計算法

(3・6) 式で上方総合荷重比 b が決定できるわけであるが、 b は右辺にも、複雑な形で入っているから、この式を b について解くことは不可能である。したがって、数値計算によつて b を求める。この場合は反復算法によるのがよい。ここで

$$r(b) = \frac{1+2b}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}}$$

$$g(b) = \frac{\frac{k}{2F}\tan\alpha + \sqrt{1+\tan^2\alpha - \left(\frac{k}{2F}\right)^2}}{1+\tan^2\alpha}$$

と置き、 $g(b)$ を水平張力係数と呼ぶことにする。 $r(b)$ は、従来の増垂係数である。

$r(b)$ 、 $g(b)$ を用いると (3・6) 式は

$$b = n + \frac{\varepsilon}{2} - 4s\varepsilon F \cdot r(b) \cdot g(b) \dots\dots\dots(3\cdot7)$$

なる形に書ける。

数値計算の手続きは、まず、 $b_0 = n + \varepsilon/2$ を初期値として (3・7) 式の右辺に入れて、 b の第1次近似値 b_1 を求め、今度は、その b_1 を右辺に入れて第2次近似値 b_2 を求める。同様に、順次 b_3 、 b_4 、……… b_i を求めて行く。すなわち

$$b_0 = n + \frac{\varepsilon}{2}$$

$$b_1 = n + \frac{\varepsilon}{2} - 4s\varepsilon F \cdot r(b_0) \cdot g(b_0)$$

$$b_2 = n + \frac{\varepsilon}{2} - 4s\varepsilon F \cdot r(b_1) \cdot g(b_1)$$

.....

.....

$$b_i = n + \frac{\varepsilon}{2} - 4s\varepsilon F \cdot r(b_{i-1}) \cdot g(b_{i-1})$$

を求めれば、 b_0 、 b_1 、 b_2 、……… b_i は振動しながら一定値に収斂する。収斂の速度は、荷重が支間中央に近いほど大である。

(表3—1) は、収斂の状況を示す計算例であり、(図3—2) は、計算結果を図示したものである。

実用値を求める際は、計算を第2次近似値までで打切つて、 $b=b_2$ とみなして十分である。すなわち

$$\left. \begin{aligned}
 b &= n + \frac{\varepsilon}{2} - 4s\varepsilon F \cdot r(b_1) \cdot g(b_1) \\
 \text{ただし} \\
 b_1 &= n + \frac{\varepsilon}{2} - 4s\varepsilon F \cdot r(b_0) \cdot g(b_0) \\
 b_0 &= n + \frac{\varepsilon}{2}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3 \cdot 8)$$

とする。

表3—1 b の反復計算例
 条件 : $\phi=20^\circ$, $s=0.05$, $F=2.0$, $n=1.0$, $\varepsilon=0.2$

$b \backslash k$	0	1/10	1/4	1/2	3/4	9/10	1
b_0	1.10000	1.10000	1.10000	1.10000	1.10000	1.10000	1.10000
b_1	0.85323	0.96313	0.99776	1.00979	0.99779	0.96379	0.84560
b_2	0.88681	0.96587	0.99828	1.00996	0.99831	0.96648	0.88605
b_3	0.88205	0.96581	0.99828	1.00996	0.99831	0.96642	0.87963
b_4	0.88272	0.96581	0.99828	1.00996	0.99831	0.96642	0.88064
b_5	0.88261	0.96581	0.99828	1.00996	0.99831	0.96642	0.88048
b_6	0.88263	0.96581	0.99828	1.00996	0.99831	0.96642	0.88050

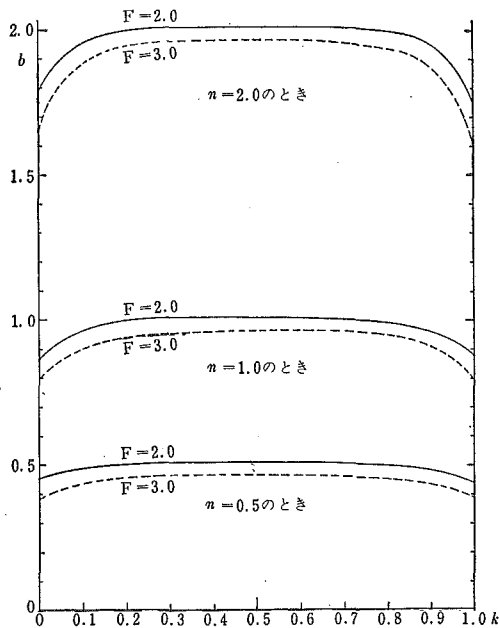


図3—2 計算例
 条件 : $\phi=20^\circ$, $s=0.05$, $\varepsilon=0.2$

式中の

$$r(b) = \frac{1+2b}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}} : \text{増垂係数}$$

$$g(b) = \frac{\frac{k}{2F}\tan\alpha + \sqrt{1+\tan^2\alpha - \left(\frac{k}{2F}\right)^2}}{1+\tan^2\alpha} : \text{水平張力係数}$$

$$\tan\alpha = \tan\phi - 4sr(1-k)$$

の算定には、それぞれ(附図Ⅰ)、(附図Ⅲ)の算出図表が利用できる。

3) $k=1$ のときの上方総合荷重比： b_u

特に、 $k=1$ のときは、(3・8)式によらず、次の式を用いた方が、簡単でしかも正確な値が得られる。

$k=1$ のときの b を b_u とし、(3・6)式において $k=1$ と置くと

$$b_u = n + \frac{\varepsilon}{2} - 4s\varepsilon F (1+2b_u) \frac{\frac{1}{2F}\tan\phi + \sqrt{1+\tan^2\phi - \left(\frac{1}{2F}\right)^2}}{1+\tan^2\phi}$$

ゆえに

$$b_u = \frac{n + \frac{\varepsilon}{2} - 4s\varepsilon F \cdot g_u}{1 + 8s\varepsilon F \cdot g_u}$$

ただし

$$g_u = \frac{\frac{1}{2F}\tan\phi + \sqrt{1+\tan^2\phi - \left(\frac{1}{2F}\right)^2}}{1+\tan^2\phi}$$

.....(3・9)

4) $k=0.5$ のときの b の値： b_m

$k=0.5$ のときの b の値を b_m とすれば、(3・8)式で $k=0.5$ として

$$b_m = n + \frac{\varepsilon}{2} - 4s\varepsilon F \cdot r_m \cdot g_m$$

ここに

$$r_m = \frac{1+2b_1}{\{1+3(b_1+b_1^2)\}^{1/2}}$$

$$g_m = \frac{\frac{1}{4F}\tan\alpha + \sqrt{1+\tan^2\alpha - \left(\frac{1}{4F}\right)^2}}{1+\tan^2\alpha}$$

.....(3・10)

ただし

$$\tan\alpha = \tan\phi - 2sr_m$$

であるが、実用的には次の近似式——1, 2 を用いてもよい。

(1) 近似式—— 1

(3・10) 式において $b_1=n$ と置くと

$$b_m = n + \frac{\epsilon}{2} - 4s\epsilon F \cdot r_n \cdot g_n$$

ここに

$$r_n = \frac{1+2n}{\{1+3(n+n^2)\}^{1/2}}$$

$$g_n = \frac{\frac{1}{4F}\tan\alpha + \sqrt{1 + \tan^2\alpha - \left(\frac{1}{4F}\right)^2}}{1 + \tan^2\alpha}$$

ただし

$$\tan\alpha = \tan\phi - 2sr_n$$

$$\left. \begin{aligned} & \dots\dots\dots(3\cdot11) \\ & \dots\dots\dots(3\cdot11) \end{aligned} \right\}$$

が得られる。

(3・11) 式と (3・10) 式の誤差を Δb_m とすれば

$$\Delta b_m = -4s\epsilon F \{r_n \cdot g_n - r_m \cdot g_m\}$$

であるから、 $\Delta b_m > 0$ のときは (3・10) 式の代わりに (3・11) 式を用いる誤差は安全側にあり、 $\Delta b_m < 0$ のときは危険側にあることになる。いま

$$\Delta b = b_1 - n = \epsilon/2 - 4s\epsilon F \cdot r(b_0) \cdot g(b_0)$$

と置くと

$$\epsilon(0.5 - 0.12r(b_0)) > \Delta b > \epsilon\{0.5 - 0.6r(b_0)\} \dots\dots\dots(3\cdot11-2)$$

——この証明は、後述する (3・14) 式のとき行なう。また $\{r(b_0)\}_{b_0=\infty} > r(b_0) > \{r(b_0)\}_{b_0=0}$ 、すなわち $k=0.5$ のときは $1.155 > r(b_0) > 1$ なること、および $\epsilon=0.1\sim 0.4$ なることを考えれば、(3・11-2) より概略

$$|\Delta b| < 0.38\epsilon < 0.15 \dots\dots\dots(3\cdot11-3)$$

$r_m = r_n + \Delta r$ とおけば、 $b_1 = n + \Delta b$ であるから

$$|r_m - r_n| = |\Delta r| \doteq \frac{dr}{dn} \Delta b = \frac{|\Delta b|}{2\{1+3(n+n^2)\}^{3/2}}$$

(3・11-3) 式を代入すれば

$$|\Delta r| < 0.075 \dots\dots\dots(3\cdot11-4)$$

したがって $|(\tan\alpha)_{b_1} - (\tan\alpha)_n| = 2s |\Delta r| < 0.009$ となるから、(附図Ⅲ) より

$$g_m \doteq g_n \leq 1 \dots\dots\dots(3\cdot11-5)$$

(3・11-4, 5) 式の結果から、 $F=1.0\sim 5.0$ の範囲で

$$|\Delta b_m| < 4s\epsilon F |\Delta r| < 0.002$$

となる。

結局、 Δb_m の値は正負いずれにしても、実用的には無視できる程度であるから、(3・11) 式を (3・10) 式の代わりに使用できる。すなわち (3・11) 式は b_m を求める実用式の 1 つである。

(2) 近似式——2

(3・10) 式において g_m の値は、実際の索道条件 $s=0.03\sim 0.06$, $\tan\phi=0\sim 0.55$ ($\phi=0^\circ\sim 30^\circ$), $F=1.0\sim 5$ のとき、すなわち $-0.14<\tan\alpha<0.5$, $1\leq F\leq 5$ なる条件の下では次図 (図3-3) の斜線を施した範囲にある値である。(図3-3) は (附図Ⅲ) の一部である。

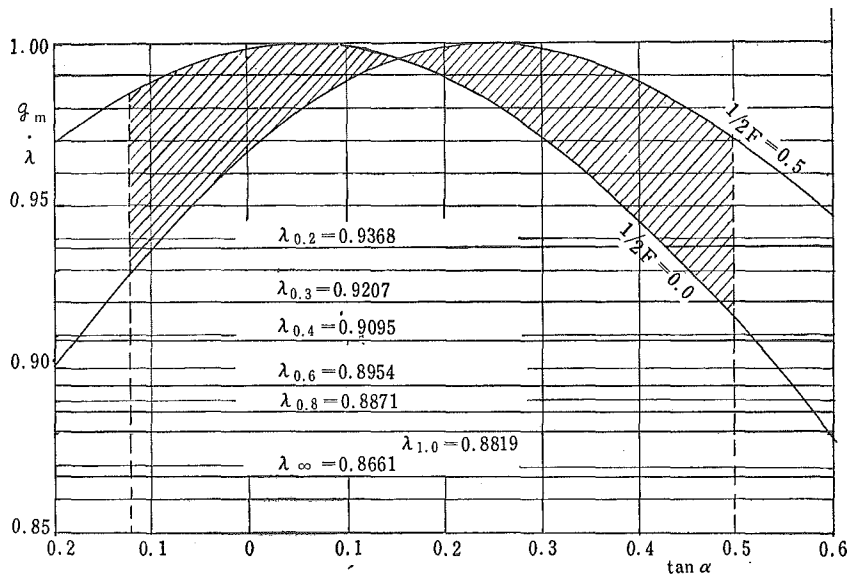


図3-3 g_m および $\lambda = \frac{1}{r_m}$ の値

また $\lambda=1/r_m$ と置き、 $b_1=0.1, 0.2, 0.3\cdots$ のときの λ の値 $\lambda_{0.1}, \lambda_{0.2}, \lambda_{0.3}\cdots$ を同図に直線をもつて書き入れる。

図において、 λ_i なる直線より上方にある g_m に対しては、 $b_1 \geq i$ ($i=0.1, 0.2\cdots$) の条件の下に $g_m \geq \lambda=1/r_m$, すなわち、 $r_m \cdot g_m \geq 1$ が成立する。斜線を施した図形 (g_m の値) は、全部分が $\lambda_{0.4}$ なる直線より上方にあるから、 $b_1 \geq 0.4$ ならば、索道の条件に関係なく、 $r_m \cdot g_m \geq 1$ である。

また、 $0.4 > b_1 \geq 0.2$ のときは、斜線部分の一部分が直線下になるが、その範囲——およそ $F > 3$ で $\tan\alpha > 0.42$ ($\phi > 25^\circ$) のとき、および $F < 1.2$ で $\tan\alpha = -0.1$ ($\phi = 0^\circ$) のとき——を除き、 $r_m \cdot g_m \geq 1$ である。

実際に計算してみても、 $0.91 < g_m \leq 1$ なることは (図3-3) から明らかであるから、 $r_m \cdot g_m$ は (表3-2) に示すような値となり、やはり、 $b_1 \geq 0.4$ のときは常に $r_m \cdot g_m \geq 1$,

表3-2 $r_m \cdot g_m$ の値

b_1	r_m	$r_m \cdot g_m$ の範囲
0.2	1.067	0.971~1.067
0.3	1.086	0.988~1.086
0.4	1.099	1.000~1.099
0.6	1.116	1.016~1.116
1.0	1.133	1.031~1.133
∞	1.155	1.050~1.155

$0.2 \leq b_1 < 0.4$ のときは、条件によつて、 $r_m \cdot g_m \geq 1$ にも、 $r_m \cdot g_m < 1$ にもなることがわかる。 $r_m \cdot g_m < 1$ になる条件は、前述のとおり $F > 3$ で $\phi > 25^\circ$ のとき、および $F < 1.2$ で $\phi = 0$ のときである。

さて、(3.10) 式の代わりに

$$b_m = n + \frac{\epsilon}{2} - 4s\epsilon F$$

を用いると、その誤差 Δb_m は、

$\Delta b_m = 4s\epsilon F(r_m \cdot g_m - 1)$ であるから、 $r_m \cdot g_m \geq 1$ のときは誤差は安全側に出るが、 $r_m \cdot g_m < 1$ のときは危険側に出る。

誤差の大きさは、 $4sF < 0.6$ であること——証明は(3.14)式の証明の際に行なう——、および $\epsilon = 0.1 \sim 0.4$ なることを考慮すれば、(表3-2)より

- (1) $b_1 \geq 0.4$ のとき (安全側誤差)
 $0 < \Delta b_m = 4s\epsilon F(1.155 - 1) < 0.04$
- (2) $b_1 \geq 0.3$ のとき
 安全側誤差は $b_1 \geq 0.4$ と同じく $\Delta b_m < 0.04$
 危険側誤差は $\Delta b_m = 4s\epsilon F(1 - 0.988) > 0.003$
- (3) $b_1 \geq 0.2$ のとき
 安全側誤差 $\Delta b_m < 0.04$
 危険側誤差 $\Delta b_m = 4s\epsilon F(1 - 0.971) < 0.007$

となる。この結果からみると、危険側誤差も実用上では、あまり問題にしなくてよい程度の誤差であるが、なるべく危険側の誤差を避けたほうがよい。

結局、(3.10) 式の近似式として

$$\left. \begin{aligned} \phi = 0^\circ \sim 30^\circ \text{ ならば } b_1 \geq 0.4 \text{ のとき} \\ \phi = 0^\circ \sim 25^\circ \text{ ならば } b_1 \geq 0.2 \text{ のとき} \\ b_m = n + \frac{\epsilon}{2} - 4s\epsilon F \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.12)$$

を用いることができる。誤差は安全側に出る。(3.12) 式の条件である b_1 の値は、初めから不明であるから、 $b_1 = b_m$ とみなして(3.12) 式の計算結果が、0.4 以上になるか、0.2 以上になるかで判断する。近似的に、 n の値で判断してよい。

危険側誤差を認めるならば(3.12) 式の条件は「 $\phi = 0^\circ \sim 30^\circ$ ならば $b_1 \geq 0.2$ のとき」となるが、普通の索道では、これを満たすから、条件を付けなくてよい。

(3.12) 式は、一般に(3.11) 式より近似度は落ちる。

5) b の性質

$$b = n + \frac{\epsilon}{2} - 4s\epsilon F \cdot r \cdot g$$

であるから $s \times F$ の値が大きいほど b は小さくなるわけであるが、 $s \times F$ は実際の索道では、次のような制限があり、 b の値も無制限には小さくならない。

(図3-4) のように、無負荷時の軌索および曳索の中央垂下比を、それぞれ s 、 s' とすると、 F の値は

$$F = \frac{T_{A'}}{w'l} = \frac{\sqrt{1 + (\tan\phi - 4s')^2}}{8s'} \dots\dots\dots (3 \cdot 13)$$

で与えられ、 F と s' の関係を図示すれば (図3-5) のとおりである。

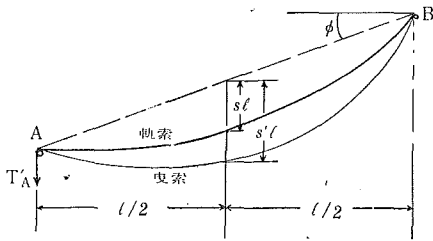


図3-4

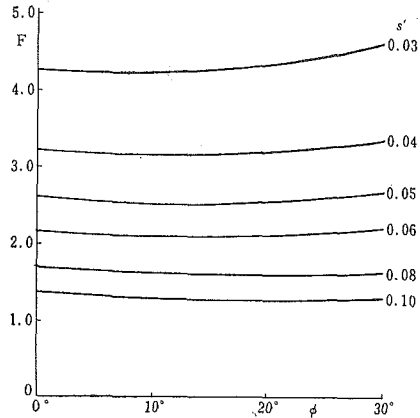


図3-5 F と s' との関係

普通、曳索は軌索より極端に強く緊張されることはなく、 $s \leq s'$ である。実際の索道では、 $\phi = 0^\circ \sim 30^\circ$ で、 $s = 0.03 \sim 0.06$ 、 $s' = 0.03 \sim 0.08$ 程度の値である。したがって (図3・5) より $F = 1.5 \sim 5$ および (附図Ⅲ) より $g = 0.80 \sim 1.0$ の値である。

(3・13) 式より

$$4s'F = \frac{\sqrt{1 + (\tan\phi - 4s')^2}}{2} < \frac{\sqrt{1 + \tan^2\phi}}{2}$$

したがって

$$4sF \leq 4s'F < \sec 30^\circ / 2 < 0.6$$

となり $4sF$ は無制限には大きくなることとわかる。下限は約 0.15 である。

結局、普通の索道においては

$$0.8 < g \leq 1.0$$

$$0.15 < 4sF < 0.6$$

なる制限がある。この制限を考慮すれば

$$b = n + \frac{\epsilon}{2} - 4scF \cdot r \cdot g$$

より b の範囲は

$$n + \frac{\epsilon}{2} - 0.12\epsilon r > b > n + \frac{\epsilon}{2} - 0.6\epsilon r \dots\dots\dots (3.14)$$

となる。

すなわち、 b は必ず $n + \epsilon/2$ より小さくなるが、 $n + \epsilon/2 \cdot (1 - 1.2r)$ より小さくなり得ないことになる。 r (増垂係数) は、支間中央で小さく、両端に近づくにつれて大きくなるから、 b は中央部で大きく、両端で小さい。この傾向は、(表3-1)あるいは(図3-2)の計算例からも知ることができる。

また b の k による変化の割合は、同じく(図3-2)における各曲線の勾配になるわけであるが、両支点に近いところ、 $k=0 \sim 0.2$ および $k=0.8 \sim 1.0$ で大きく、支間中央部 $k=0.2 \sim 0.8$ では小さく、ほとんど0であること、さらに n が大きいほど両支点附近の変化の割合が大きいことが推察できる。詳細は(3.7)式より $\frac{db}{dk}$ を求めて調べればわかる。

$$\begin{aligned} \frac{db}{dk} &= -4s\epsilon F \frac{d}{dk} \{r(b, k) \cdot g(b, k)\} \\ &= -4s\epsilon F \left[g(b, k) \frac{\partial}{\partial k} r(b, k) + r(b, k) \frac{\partial}{\partial k} g(b, k) \right. \\ &\quad \left. + \left\{ g(b, k) \frac{\partial}{\partial b} r(b, k) + r(b, k) \frac{\partial}{\partial b} g(b, k) \right\} \frac{db}{dk} \right] \end{aligned}$$

ゆえに

$$\frac{db}{dk} = \frac{-4s\epsilon F \left\{ g \frac{\partial r}{\partial k} + r \frac{\partial g}{\partial k} \right\}}{1 + 4s\epsilon F \left\{ g \frac{\partial r}{\partial b} + r \frac{\partial g}{\partial b} \right\}} \dots\dots\dots (3.15)$$

ただし

$$\frac{\partial r}{\partial k} = \frac{-6(1+2b)(b+b^2)(1-2k)}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}}$$

$$\frac{\partial r}{\partial b} = \frac{2\{k^3+(1-k)^3\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}}$$

$$\frac{\partial g}{\partial k} = \frac{\frac{1}{2F} \left(\tan\alpha - \frac{k}{2F} \right)}{(1 + \tan^2\alpha) \sqrt{1 + \tan^2\alpha - \left(\frac{k}{2F} \right)^2}}$$

$$+ \frac{\frac{k}{2F} (1 - \tan^2\alpha) \sqrt{1 + \tan^2\alpha - \left(\frac{k}{2F} \right)^2} - \tan\alpha \left\{ 1 + \tan^2\alpha - 2 \left(\frac{k}{2F} \right)^2 \right\}}{(1 + \tan^2\alpha)^2 \sqrt{1 + \tan^2\alpha - \left(\frac{k}{2F} \right)^2}} \cdot \frac{\partial \tan\alpha}{\partial k}$$

$$\frac{\partial g}{\partial b} = \frac{\frac{k}{2F} (1 - \tan^2\alpha) \sqrt{1 + \tan^2\alpha - \left(\frac{k}{2F} \right)^2} - \tan\alpha \left\{ 1 + \tan^2\alpha - 2 \left(\frac{k}{2F} \right)^2 \right\}}{(1 + \tan^2\alpha)^2 \sqrt{1 + \tan^2\alpha - \left(\frac{k}{2F} \right)^2}} \cdot \frac{\partial \tan\alpha}{\partial b}$$

$$\frac{\partial \tan \alpha}{\partial k} = -4s \left\{ (1-k) \frac{\partial r}{\partial k} - r \right\}$$

$$\frac{\partial \tan \alpha}{\partial b} = -4s(1-k) \frac{\partial r}{\partial b}$$

§ 3・2 荷重点垂下量および荷重点軌跡

前節におけるごとくして、 b が決定されれば荷重点垂下量

$$f_D = \frac{4(1+2b)(k-k^2)}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}} f = 4r(k-k^2)f \quad \dots\dots\dots(3\cdot16)$$

荷重点垂下比

$$s_D = \frac{4s(1+2b)(k-k^2)}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}} = 4s r(k-k^2) \quad \dots\dots\dots(3\cdot17)$$

軌跡曲線の縦距（下方支点 A を原点として）

$$y = kl \tan \phi - \frac{4s(1+2b)(k-k^2)}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}} l \quad \dots\dots\dots(3\cdot18)$$

が求められる。

軌跡曲線の勾配は

$$\tan \theta = \frac{1}{l} \frac{dy}{dk} = \tan \phi - \frac{4s(1+2b)(1-2k)\{1+6(b+b^2)(k-k^2)\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}}$$

$$- \frac{8s(k-k^2)\{k^3+(1-k)^3\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}} \cdot \frac{db}{dk} \quad \dots\dots\dots(3\cdot19)$$

であるが、最後の項の

$$\frac{8s(k-k^2)\{k^3+(1-k)^3\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}}$$

は、49頁、一方曳索の場合の（表2—1）の値に、 $2s/\varepsilon$ をかけた程度の値であり、 $\frac{db}{dk}$ は前節で述べたように、支点の付近では大きい中間部分では小さな値である。したがって、一方曳索の場合と同様に、最後の項を省略して、軌跡曲線の勾配の実用式とする。すなわち

$$\tan \theta = \tan \phi - \frac{4s(1+2b)(1-2k)\{1+6(b+b^2)(k-k^2)\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}} \quad \dots\dots\dots(3\cdot20)$$

これは、一方曳索の場合の式（2・14）と同形であつて、算定には（附図Ⅱ）の算出図表が利用できる。さらに近似的に

$0.1 \leq k \leq 0.9$ のとき

$$\tan \theta = \tan \phi - 4s(1-2k) \quad \dots\dots\dots(3\cdot21)$$

であることは、一方曳索の場合、（2・15）式と同様である。

§ 3・3 下方総合荷重比

§3・1, §3・2において, 上方総合荷重比 b が決定され, 荷重軌跡曲線の勾配 $\tan\theta$ が判明すれば, それに対する下方総合荷重比 a は, (1・17), (1・18) 式および (3・17), (3・20) 式より

$$\begin{aligned}
 a &= b(1-c) \\
 \text{ただし} \\
 c &= 4sr \frac{\tan\theta}{1+\tan\theta\tan\beta} \\
 r &= \frac{1+2b}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}} \\
 \tan\theta &= \tan\phi - \frac{4s(1+2b)(1-2k)\{1+6(b+b^2)(k-k^2)\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}} \\
 \tan\beta &= \tan\phi + 4srk
 \end{aligned}
 \tag{3.22}$$

として決定される。

前章, §2・4, 2) において検討したとおり

$0.1 \leq k \leq 0.9$ のときは, 実用的近似式として

$$\begin{aligned}
 c &= 2s \sin 2\theta \\
 \tan\theta &= \tan\phi - 4s(1-2k)
 \end{aligned}
 \tag{3.23}$$

としてよい。

$k=0.5$ のときの c を c_m とすると, 明らかに

$$c_m = 2s \sin 2\phi \tag{3.24}$$

である。

さて, 実際の索道では, 荷重が自重降下限度の $\tan\theta=0$ なる点に達した後も, 補助動力などを用いて荷重の引き上げを行なう場合もある。このように $\tan\theta \geq 0$ なる範囲から $\tan\theta < 0$ なる範囲まで考える必要があるときが生ずる。

I, §1・3 において検討したとおり $\tan\theta < 0$ の範囲では, 上方荷重点垂下比

$$s_D = \frac{4s(1+2b)(k-k^2)}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}}$$

は誤差が大きくなる。したがって, この s_D を基礎にして (3・6) 式より求めた上方総合荷重比 b にも, ある程度の誤差が見込まれる。

したがって, いままで記述して来た, 上・下総合荷重比, 荷重点垂下量および軌跡曲線の勾配などに対する諸式は, すべて $\tan\theta \geq 0$ なる範囲におけるものとする必要がある。

それで, 改めてここで $\tan\theta \leq 0$ なる範囲に対する式を求めてみる。

$\tan\theta \leq 0$ のときは, 上方荷重点垂下比よりも, 下方荷重点垂下比

$$s_D = \frac{4s(1+2a)(k-k^2)}{\{1+12(a+a^2)(k-k^2)\}^{1/2}} \tag{1.30}$$

の方が精度の高いものであることは, §1・3 で述べたとおりであるから, $\tan\theta \leq 0$ に対す

る基礎式としては、この(1・30)式を採用する。

(3・1)～(3・3)式より

$$P \cos \theta (1 + \tan \theta \tan \alpha) = P + \frac{w'l}{2} - H_2' (\tan \beta - \tan \alpha) \dots \dots \dots (3 \cdot 25)$$

である。

ここで

$$\tan \beta - \tan \alpha = \frac{s_D}{k - k^2}$$

であり、上方調整重錘量を T_B' とすれば、(3・5)式と同様に

$$H_2' = w'l F_2 \frac{-\left(\frac{1-k}{2F_2}\right) \tan \beta + \sqrt{1 + \tan^2 \beta - \left(\frac{1-k}{2F_2}\right)^2}}{1 + \tan^2 \beta} \dots \dots \dots (3 \cdot 26)$$

ただし

$$F_2 = \frac{T_B'}{w'l}$$

であるから、これらを(3・25)式に代入すると

$$a = n + \frac{\varepsilon}{2} - 4s \varepsilon F_2 \frac{1 + 2a}{\{1 + 12(a + a^2)(k - k^2)\}^{1/2}} \frac{-\left(\frac{1-k}{2F_2}\right) \tan \beta + \sqrt{1 + \tan^2 \beta - \left(\frac{1-k}{2F_2}\right)^2}}{1 + \tan^2 \beta} \dots \dots \dots (3 \cdot 27)$$

が得られる。この式の計算方法は、(3・6)式の b の場合とまったく同じである。算出図表も、 b と a 、 k と $(1-k)$ 、 α と $(-\beta)$ を入れ替えれば、そのまま利用できる。

(3・27)式より a が決定されれば、 $\tan \theta \geq 0$ のとき (b のとき) と同様な手続きで、荷重点垂下量、同垂下比、荷重点軌跡、同じく勾配などの式が、 a の函数として求まる。次いで、この a に対する b の値が決まる。すなわち

$$b = a(1 + c') \dots \dots \dots (3 \cdot 28)$$

ただし

$$c' = 4s \frac{1 + 2a}{\{1 + 12(a + a^2)(k - k^2)\}^{1/2}} \frac{\tan \theta}{1 + \tan \theta \tan \alpha}$$

である。

このように、 $\tan \theta \leq 0$ の場合は、まず下方総合荷重比 a が決定され、しかるのちに、この a を基準にして各理論の展開が可能になるのであつて、ちょうど $\tan \theta \geq 0$ の場合に、上方総合荷重比 b を基準にして来たのと対称的である。

(3・27)式と(3・6)式および(3・28)式と(3・22)式を比較してみると、その導入の手續き、意味、計算方法などまったく同一で、しかも a と b 、 k と $(1-k)$ 、 α と β 、 A と B を入れ替え、角度は符号をかえてやれば、互に他方の式に移行できる。このことは、次図

(図3-6)において、(A) 図の $\theta < 0$ の場合も、(B) 図のごとく考えれば $\theta > 0$ の場合として取扱い得ることを意味する。

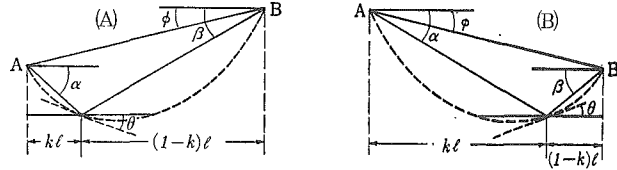


図3-6

結局 $\tan\theta \geq 0$ の範囲においては b を基準にし

て考え $\tan\theta \leq 0$ の範囲においては a を基準にして考えて行く必要があるが、 $\tan\theta \leq 0$ の場合に関する数式としては、 $\tan\theta \geq 0$ の場合の数式がそのまま転用できることがわかった。

したがって、今後 $\tan\theta \geq 0$ として取扱い、特に必要でないかぎり、 $\tan\theta \leq 0$ の場合には触れない。

数式の変換は、一般的にいえば、次のようにして実施する。

- (1) 荷重点を境として区別されている諸元の記号は全部入れ替える。
- (2) 角度は符号を変える。

§3・4 曳索の張力

1) 曳索張力の水平分力 H_1' , H_2'

下方曳索張力の水平分力 H_1' については、すでに (3・5) 式で、 b の不明のまま、 b の算定に利用されているが、 b が判明したから、ここで改めて書き直すと

$$H_1' = w'lgF = gT_A'$$

ただし

$$g = \frac{\frac{k}{2F}\tan\alpha + \sqrt{1 + \tan^2\alpha - \left(\frac{k}{2F}\right)^2}}{1 + \tan^2\alpha}$$

$$\tan\alpha = \tan\phi - 4sr(1-k)$$

$$r = \frac{1+2b}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}}$$

$$F = \frac{T_A'}{w'l}$$

}(3・29)

上方曳索張力の水平分力 H_2' は (3・2) 式および (3・3) 式より

$$H_2' = H_1' + R\sin\theta$$

であり、定義によると

$$b = \frac{1}{w'l} R\cos\theta(1 + \tan\theta \tan\beta) \quad \text{---(1・2)---}$$

であつたから

$$R\sin\theta = wlb \frac{\tan\theta}{1 + \tan\theta \tan\beta} \quad \text{.....(3・30)}$$

となる。したがって、これを二方曳索の場合に適用して

$$\left. \begin{aligned}
 H_2' &= w'l g F + wlb \frac{\tan\theta}{1 + \tan\theta \tan\beta} \\
 \text{ただし} \\
 \tan\theta &= \tan\phi - \frac{4s(1+2b)(1-2k)\{1+6(b+b^2)(k-k^2)\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}} \\
 \tan\beta &= \tan\phi + 4srk
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3\cdot31)$$

近似的に、一方曳索の場合の (2・17) 式と同様に $\frac{\tan\theta}{1 + \tan\theta \tan\beta} = \frac{\sin 2\theta}{2}$ として

$$H_2' = w'l g F + \frac{\sin 2\theta}{2} \dots\dots\dots(3\cdot32)$$

特に、 $k=1$ のときは

$$\tan\theta = \tan\beta = \tan\theta_B, \quad b = b_u, \quad g = g_u$$

であるから

$$\left. \begin{aligned}
 (H_2')_{k=1} &= w'l g_u F + wlb_u \frac{\sin 2\theta_B}{2} \\
 \text{ただし} \\
 g_u &= \frac{\frac{1}{2F} \tan\phi + \sqrt{1 + \tan^2\phi - \left(\frac{1}{2F}\right)^2}}{1 + \tan^2\phi} \\
 b_u &= \frac{n + \frac{\varepsilon}{2} - 4s\varepsilon F \cdot g_u}{1 + 8s\varepsilon F \cdot g_u} \\
 \tan\theta_B &= \tan\phi + 4s(1+2b_u)
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3\cdot33)$$

2) 上方支点張力 T_B'

荷重が下方支点より kl の水平距離にあるとき、曳索の上方支点における張力 T_B' は

$$T_B' = H_2' \sqrt{1 + \left\{ \tan\beta + \frac{w'l(1-k)}{2H_2'} \right\}^2} \dots\dots\dots(3\cdot34)$$

ここに、 H_2' は (3・31) または (3・32) あるいは

$$s_2' = \frac{w'l(1-k)}{8H_2'} = \frac{\varepsilon(1-k)}{8\left\{ \varepsilon g F + b \frac{\tan\theta}{1 + \tan\theta \tan\beta} \right\}} \dots\dots\dots(3\cdot35)$$

と置いて

$$\left. \begin{aligned}
 T_B' &= w'l(1-k) \frac{\sqrt{1 + (\tan\beta + 4s_2')^2}}{8s_2'} \\
 &= w'l(1-k)\Phi' \\
 \Phi' &: \text{最大張力係数}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3\cdot36)$$

最大張力は普通 $k=1$ のとき生ずる。(3・34) 式において $k=1$ とし, (3・33) 式を用いると

$$\left. \begin{aligned} (T_{B'})_{max} &= (H_2')_{k=1} \sqrt{1 + \tan^2 \theta_B} \\ &= w' l g_u F \sec \theta_B + w l b_u \sin \theta_B \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3 \cdot 37)$$

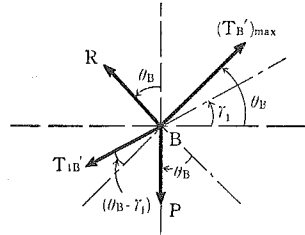


図3-7

あるいは, $k=1$ のときの下方曳索の B 点における張力を $T_{1B'}$ とすると, B 点における力の平衡条件より (図3-7 参照)

$$(T_{B'})_{max} = T_{1B'} \cos(\theta_B - \gamma_1) + P \sin \theta_B$$

ただし

$$\tan \gamma_1 = \tan \phi + \frac{w' l}{2(H_1)_{k=1}} = \tan \phi + \frac{1}{2g_u F} \dots\dots\dots (3 \cdot 38)$$

$$T_{1B'} = w' l g_u F \sqrt{1 + \tan^2 \gamma_1}$$

$$\tan \theta_B = \tan \phi + 4s(1 + 2b_u)$$

を得る。

(2・40) 式と同様に

$$T_{1B'} \doteq T_{A'} + w' l \sin \phi \dots\dots\dots (3 \cdot 39)$$

であるから, $\cos(\theta_B - \gamma_1) \doteq 1$ とみなすと, (3・38) 式は, 近似的に

$$(T_{B'})_{max} = T_{A'} + w' l \sin \phi + P \sin \theta_B$$

ただし

$$\tan \theta_B = \tan \phi + 4s(1 + 2b_u) \dots\dots\dots (3 \cdot 40)$$

である。

§3・5 軌索の張力

軌索の各種張力は, §3・1~§3・4 で求めて来た, 総合荷重比, 荷重点垂下比, 軌跡曲線および曳索張力の水平分力を用いて, 一方曳索の場合と同じ手続きで次のように求められる。

- 1) 下方支点側水平張力 H_1

(1・9) 式および (3・16) 式より

$$H_1 = \frac{w l \sqrt{1 + 12(b + b^2)(k - k^2)}}{8s} \dots\dots\dots (3 \cdot 41)$$

H_1 の最大値は, $\frac{d}{dk} H_1 = 0$ すなわち

$$(b + b^2)(1 - 2k) + (1 + 2b)(k - k^2) \frac{db}{dk} = 0$$

を満足する k のときに生ずる。(3・15) 式の $\frac{db}{dk}$ を用いて, 2, 3 の k (0.5 に近い値) に対する上式の左辺の値を計算し, それらの値をグラフに描くことによつて, 図式的に上式を満足させる k の値を求めることも可能であるが, 前掲の (表3-1) および (図3-2) の b の計算例より, $k=0.5$ のとき $\frac{db}{dk}=0$ なることが察知できるから, 近似的には $k=0.5$ のとき $\frac{d}{dk}H_1=0$ と考えてよい。したがつて, 近似的に, $k=0.5$ のとき H_1 は最大になるとしてよい。

2) 上方支点側水平張力 H_2

荷重載荷点 D における軌索の平衡条件 (1・1) 式より

$$H_2 = H_1 - R \sin \theta$$

(3・41) 式の H_1 , (3・30) 式の $R \sin \theta$ を用いれば

$$H_2 = \frac{wl\sqrt{1+12(b+b^2)(k-k^2)}}{8s} - wlb \frac{\tan \theta}{1 + \tan \theta \tan \beta}$$

ただし

$$\tan \theta = \tan \phi - \frac{4s(1+2b)(1-2k)\{1+6(b+b^2)(k-k^2)\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}} \dots\dots\dots (3\cdot 42)$$

$$\tan \beta = \tan \phi + 4srk$$

$$r = \frac{1+2b}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}}$$

あるいは, (1・10) 式および (1・30) 式から得られる H_2 の式を, 二方曳索の場合に適用すれば, 下方総荷重比 a は (3・22) 式で与えられるから

$k=0\sim 0.9$ の範囲で

$$H_2 = \frac{wl\sqrt{1+12(a+a^2)(k-k^2)}}{8s}$$

ただし

$$a = b(1-c)$$

$$c = 4sr \frac{\tan \theta}{1 + \tan \theta \tan \beta}$$

$\tan \theta, \tan \beta$: (3・42) に同じ

(3・43) 式の導入の過程, 誤差などに対する吟味は, 一方曳索の場合の (2・32) 式とまったく同じである。

さらに, 一方曳索の場合と同じ過程をたどれば, 実用的な設計計算式として

$k=0.1\sim 0.9$ の範囲で

$$H_2 = \frac{wl\sqrt{1+12(a+a^2)(k-k^2)}}{8s}$$

ただし

$$a = b(1-2s \sin 2\theta)$$

$$\tan \theta = \tan \phi - 4s(1-2k)$$

を得る

H_2 の最大値は、 $\frac{d}{dk}H_2=0$ を満足する k のとき生ずるわけであるが、ここでは実用的数値を得るのを目的としていく。

(3・44) 式をそのまま用いると

$$\frac{d}{dk}\left(\frac{H_2}{wl}\right) = \frac{3}{4s} \cdot \frac{(a+a^2)(1-2k) + (1+2a)(k-k^2)\frac{da}{dk}}{\{1+12(a+a^2)(k-k^2)^{1/2}\}}$$

$$\frac{da}{dk} = (1-2s \sin 2\theta) \frac{db}{dk} - b \left\{ 16s^2 \frac{(1-\tan^2\theta)}{(1+\tan^2\theta)^2} \right\}$$

H_2 最大になるのは、 $k=0.4\sim 0.6$ の範囲であろうことは予想できるから、 $\frac{db}{dk}=0$ である。したがって $\frac{da}{dk}$ の値は、ほぼ $-16bs^2 \frac{1-\tan^2\theta}{(1+\tan^2\theta)^2}$ である。 $k=0.4\sim 0.6$ では $\tan\theta=\tan\phi$ であり、普通 $\phi=0^\circ\sim 30^\circ$ ($\tan\phi=0\sim 0.55$) 位であるから

$$0 < \frac{1-\tan^2\theta}{(1+\tan^2\theta)^2} < 1$$

また $s=0.03\sim 0.06$ であるから、大略

$$0 > -16bs^2 \frac{1-\tan^2\theta}{(1+\tan^2\theta)^2} > -0.06b$$

結局

$$\frac{da}{dk} = -(0\sim 0.06)b \quad (b=0.2\sim 3.0)$$

程度の値である。この値と (2・24) 式における $-\epsilon/2$ の値 ($\epsilon=0.1\sim 0.4$) と比較すると、ほとんど同程度の値であることがわかる。

したがって、 $\frac{d}{dk}\left(\frac{H_2}{wl}\right)=0$ を満足する k の値は、(2・24) 式を満足する k の値 $k=k_H$ とあまり変わらないことになる。

したがって、この場合も実用的には $k=0.5$ のときの H_2 の値 $(H_2)_{k=0.5}$ を H_2 の最大値 $(H_2)_{max}$ と考えてよい。

$$(H_2)_{max} = (H_2)_{k=0.5} = wl \frac{\sqrt{1+3(a_m+a_m^2)}}{8s} \quad \left. \begin{array}{l} \dots\dots\dots(3\cdot 45) \end{array} \right\}$$

ただし

$$a_m = b_m(1-2s \sin 2\phi)$$

3) 軌索の最大張力

荷重が、下方支点 A より kl なる位置にあるとき、上方支点 B における軌索の張力 T_B は

$$T_B = H_2 \sqrt{1 + \left(\frac{dY}{dX}\right)_{X=0}^2} \quad \left. \begin{array}{l} \dots\dots\dots(3\cdot 46) \end{array} \right\}$$

ただし

$$H_2 = wl \frac{\sqrt{1+12(a+a^2)(k-k^2)}}{8s} \quad \text{---(3.43)---}$$

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{dY}{dX}\right)_{X=0} = \tan\phi + \frac{wl(1+2ka)}{2H_2} \end{aligned} \right\}$$

：上方支点における軌索勾配

で表わされる。

この場合にも、一方曳索の場合と同様に (2.41), (2.42) 式の関係が成立するから、 T_B は、荷重が kl の位置にあるときの軌索張力のうち最も大きいものである。したがって T_B の最大値は軌索全体を通じての張力最大値でもある。

厳密に言えば、 T_B の最大値は $\frac{d}{dk} T_B = 0$ を満足させる k のとき生ずるわけであるが、(3.46) において上方支点における軌索の勾配 $\left(\frac{dY}{dX}\right)_{X=0}$ は、 $k=0.4\sim 0.6$ では、ほとんど変化がないから、簡単にするためにこれを一定値と考えれば、(3.46) より、 H_2 が最大になるとき T_B も最大になることになる。したがって、 T_B は近似的に $k=0.5$ のときに最大になる。

(3.45) 式および (3.46) 式より

$$\begin{aligned} (T_B)_{max} &= (H_2)_{k=0.5} \sqrt{1 + \left(\frac{dY}{dX}\right)_{k=0.5}^2} \\ &= wl \frac{\sqrt{1+3(a_m+a_m^2)}}{8s} \sqrt{1 + \left\{ \tan\phi + \frac{4s(1+a_m)}{\sqrt{1+3(a_m+a_m^2)}} \right\}^2} \\ &= wl(1+a_m)\Phi \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \dots\dots(3.47) \end{array} \right\}$$

ただし

$$a_m = b_m(1-2s \sin 2\phi)$$

$$\Phi = \frac{\sqrt{1+(\tan\phi+4sZ)^2}}{8sZ} \quad \text{：最大張力係数}$$

$$Z = \frac{1+a_m}{\sqrt{1+3(a_m+a_m^2)}} \quad \text{：垂下比当値係数}$$

§3.6 実用式の総括

二方曳索の場合についての上記諸式のうち、索道設計に用いて適当と思われる、いわば設計計算式を取りまとめて再掲する。

〔記号〕

a, b : 下方および上方総合荷重比

l : 支間水平距離

s : 原軌索中央垂下比

k : 荷重位置係数

$n = \frac{P}{wl}$: (固定) 荷重比

P : 荷重の大きさ

w, w' : 軌索および曳索の重量が水平方向に等分布していると考えたときの、それぞれ

の水平方向等分布重量

- $\varepsilon = \frac{w'}{w}$: 曳索と軌索の単位長重量比
- ϕ : 支間傾斜角
- α : 荷重点下方支点間傾斜角
- β : 荷重点上方支点間傾斜角
- θ : 荷重点軌跡曲線の kl における切線角あるいは総合荷重が鉛直線となす角
- $T_{A'}$: 曳索の下方調整重錘量
- $F = \frac{T_{A'}}{w'l}$: 調整重錘量・曳索重量比

[係 数]

$$r(b) = \frac{1+2b}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}} \quad : \text{増垂係数} \dots\dots\dots (\text{附図 I})$$

$$g(b) = \frac{\frac{k}{2F} \tan \alpha + \sqrt{1 + \tan^2 \alpha - \left(\frac{k}{2F}\right)^2}}{1 + \tan^2 \alpha} \quad : \text{水平張力係数} \dots\dots (\text{附図 III})$$

[勾 配]

$$\tan \alpha = \tan \phi - 4sr(1-k)$$

$$\tan \beta = \tan \phi + 4srk$$

とする。

1) 上方総合荷重比

(1) 一般式

$$b = n + \frac{\varepsilon}{2} - 4s\varepsilon F \cdot r(b_1) \cdot g(b_1)$$

ただし

$$b_1 = n + \frac{\varepsilon}{2} - 4s\varepsilon F \cdot r(b_0) \cdot g(b_0)$$

$$b_0 = n + \frac{\varepsilon}{2}$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3 \cdot 8)$$

(2) $k=1$ のとき (添字 u は $k=1$ のときの値)

$$b_u = \frac{n + \frac{\varepsilon}{2} - 4s\varepsilon F \cdot g_u}{1 + 8s\varepsilon F \cdot g_u} \dots\dots\dots (3 \cdot 9)$$

(3) $k=0.5$ のとき (添字 m は $k=0.5$ のときの値)

$$b_m = n + \frac{\varepsilon}{2} - 4s\varepsilon F \cdot r_m(n) \cdot g_m(n) \dots\dots\dots (3 \cdot 11)$$

または

$n \geq 0.4$ のときは $\phi = 0^\circ \sim 30^\circ$ の範囲で

$0.4 > n \geq 0.2$ のときは $\phi = 0^\circ \sim 25^\circ$ の範囲で

$$b_m = n + \frac{\varepsilon}{2} - 4s\varepsilon F \dots\dots\dots (3 \cdot 12)$$

2) 荷重点垂下比および荷重点軌跡

(1) 荷重点垂下比

$$s_D = \frac{4s(1+2b)(k-k^2)}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}} = 4sr(k-k^2) \dots\dots\dots(3\cdot17)$$

(2) 荷重点縦距 (下方支点を原点として)

$$y = kl \tan \phi - 4s \frac{(1+2b)(k-k^2)}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}} l \dots\dots\dots(3\cdot18)$$

(3) 軌跡曲線の勾配

$$\begin{aligned} \tan \theta &= \tan \phi - \frac{4s(1+2b)(1-2k)\{1+6(b+b^2)(k-k^2)\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}} \dots\dots\dots(3\cdot20) \\ &= \tan \phi - 4s\theta \quad (\theta : \text{附図 II}) \end{aligned}$$

3) 曳索の張力

(1) 下方曳索張力の水平分力

$$H_1' = gT_A' = w'lgF \dots\dots\dots(3\cdot29)$$

(2) 上方曳索張力の水平分力

$$H_2' = w'lgF + wlb \frac{\tan \theta}{1 + \tan \theta \tan \beta} \dots\dots\dots(3\cdot31)$$

または

$$H_2 = w'lgF + wlb \frac{\sin \theta}{2} \dots\dots\dots(3\cdot32)$$

(3) 上方曳索支点張力

$$T_B' = w'l(1-k)\Phi'$$

ただし

$$\Phi' = \frac{\sqrt{1 + (\tan \beta + 4s_2')^2}}{8s_2'} : \text{最大張力係数} \dots\dots\dots(3\cdot36)$$

$$s_2' = \frac{\epsilon(1-k)}{8\left\{\epsilon gF + b \frac{\tan \theta}{1 + \tan \theta \tan \beta}\right\}}$$

: 上方曳索中央垂下比

(4) 曳索最大張力

最大張力は荷重が上方支点に来たときの上方曳索張力

$$T'_{max} = (T_B')_{max} = T_A' + w'ls \sin \phi + P \sin \theta_B \dots\dots\dots(3\cdot40)$$

ただし

$$\tan \theta_B = \tan \phi + 4s(1+2b_u)$$

4) 軌索の張力

(1) 下方支点側張力の水平分力

$$H_1 = \frac{wl\sqrt{1+12(b+b^2)(k-k^2)}}{8s} \dots\dots\dots(3\cdot41)$$

(2) 上方支点側張力の水平分力

$$H_2 = \frac{wl\sqrt{1+12(b+b^2)(k-k^2)}}{8s} - wlb \frac{\tan\theta}{1+\tan\theta\tan\beta} \dots\dots\dots(3\cdot42)$$

または

$k=0.1\sim 0.9$ の範囲で

$$H_2 = \frac{wl\sqrt{1+12(a+a^2)(k-k^2)}}{8s}$$

ただし

$$a = b(1 - 2s \sin 2\theta)$$

$$\tan\theta = \tan\phi - 4s(1 - 2k)$$

$$\dots\dots\dots(3\cdot44)$$

(3) 最大張力

軌索の最大張力は、荷重が支間中央に来たとき上方支点に生ずる。

$$T_{max} = wl(1 + a_m)\phi$$

ただし

$$a_m = b_m(1 - 2s \sin 2\phi)$$

$$\phi = \frac{\sqrt{1 + (\tan\phi + 4sZ)^2}}{8sZ} \quad : \text{最大張力係数}$$

$$Z = \frac{1 + a_m}{\sqrt{1 + 3(a_m + a_m^2)}} \quad : \text{垂下比当値係数}$$

$$\dots\dots\dots(3\cdot47)$$

5) 計算例

条件 : $\phi = 20^\circ, s = 0.05, F = 2.0, n = 1.0, \epsilon = 0.2, k = 0.5$

表3-3

	b_m	a_m	$\frac{H_1}{wl}$	$\frac{H_2}{wl}$	$\frac{H_1'}{wl}$	$\frac{H_2'}{wl}$	$\frac{T_{max}}{wl}$
使用式	(3.11)	(3.44)	(3.41)	(3.44)	(3.29)	(3.31)	(3.47)
計算値	1.010	0.952	6.657	6.381	(F図表) 0.396	0.711	7.197
堀式 ¹⁷⁾ による値	—	—	6.655	6.344	0.397	0.708	7.141
従来の加藤式による値	1.100	1.100	7.040	7.040	—	—	7.913

表3-4

項目	b_m	a_m	$\frac{H_1}{wl}$	$\frac{H_2}{wl}$	$\frac{H_1'}{wl}$	$\frac{H_2'}{wl}$	$\frac{T_{max}}{wl}$
使用式	(3.12)	(3.44)	(3.41)	(3.44)	(3.29)	(3.32)	(3.47)
計算値	1.020	0.954	6.699	6.421	(F図表) 0.397	0.725	7.226

なお、 $\left(\frac{T'_{max}}{wl}\right) = 1.144 - (3.40)$ 式 加藤式 $\left(\frac{T'_{max}}{wl}\right) = 1.249$
 (表3-4)は、同一条件で、 b_m, H_2' の算出に最も簡単な計算式を使用した場合である。

§3・7 一方曳索の場合との関係

1) 式の転換

一方曳索の場合は、二方曳索の場合において、下方曳索を欠く特別な場合、すなわち、前掲(図3-1) (B)において $T_{1D}' = 0$ の場合であると考えられる。しかし、二方曳索の場合に関する諸式に、機械的に $T_{1D}' = 0$ ($V_1' = 0$ 且 $H_1' = 0$) なる条件を付加しても、一方曳索の場合に関する式に転換できない。それは、両式が次のような関係にあるためである。

下方曳索の水平方向等分布重量を w_1' 、上方曳索のそれを w_2' として区別すると (3・1)、(3・2) および (3・3) 式はそれぞれ

$$\left. \begin{aligned} V_1' &= H_1' \tan \alpha + \frac{w_1' k l}{2} \\ V_2' &= H_2' \tan \beta - \frac{w_2' (1-k) l}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.48)$$

$$\left. \begin{aligned} H_1' &= T_{1D}' \cos \gamma_1 \\ H_2' &= T_{2D}' \cos \gamma_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.49)$$

$$\left. \begin{aligned} R \sin \theta + H_1' &= H_2' \\ R \cos \theta + V_2' &= V_1' + P \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.50)$$

となる。したがって

$$\left. \begin{aligned} b &= n + \frac{\epsilon_1 k l}{2} + \frac{\epsilon_2 (1-k) l}{2} - \frac{H_1'}{w l} (\tan \beta - \tan \alpha) \\ \epsilon_1 &= \frac{w_1'}{w}, \quad \epsilon_2 = \frac{w_2'}{w} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.51)$$

さらに

$$\left. \begin{aligned} H_1' &= w_1' l F \frac{\frac{k}{2F} \tan \alpha + \sqrt{1 + \tan^2 \alpha - \left(\frac{k}{2F}\right)^2}}{1 + \tan^2 \alpha} \equiv w_1' l F g \\ F &= \frac{T_A'}{w_1' l} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.52)$$

$$\tan \beta - \tan \alpha = 4s \frac{1 + 2b}{\{1 + 12(b + b^2)(k - k^2)\}^{1/2}} \equiv 4sr \dots\dots\dots (3.53)$$

であるから、(3.52)、(3.53) 式を (3.51) 式に代入すると

$$b = n + \frac{\epsilon_1 k}{2} + \frac{\epsilon_2 (1-k)}{2} - 4s \epsilon_1 F \cdot r \cdot g \dots\dots\dots (3.54)$$

を得る。

(3・54) 式に $T_{1D}'=0$ なる条件, すなわち, $H_1'=0$ 且つ $V_1'=0$, したがって, $H_1'=0$ 且つ $\varepsilon_1=0$ なる条件を付加すると

$$b=n+\frac{\varepsilon_2(1-k)}{2}$$

となり, (2・4) 式で示す一方曳索の場合の上方総合荷重比を与えるものと同一になる。

また, (3・54) 式において, $\varepsilon_1=\varepsilon_2=\varepsilon$ とすると

$$b=n+\frac{\varepsilon}{2}-4s\varepsilon F \cdot r \cdot g$$

となり, 二方曳索の場合の上方総合荷重比を与える (3・7) 式と同一になる。

つまり, (3・54) 式は, 曳索付き運材索道の上方総合荷重比 b を与える一般式であつて, ここでいう「一方曳索の場合」の b も「二方曳索の場合」の b も包含しているわけである。

したがって, さらに (3・54) 式の b を用いて, 荷重点垂下比, 軌跡曲線曳索および軌索の張力などに関する式を求めれば, それらの式は, 曳索付き索道の一般式であるといえる。

今までは

- (1) $H_1'=0$ 且つ $\varepsilon_1=0$ の場合
- (2) $\varepsilon_1=\varepsilon_2=\varepsilon$ の場合

とに分けて

- (1) 一方曳索の場合……………Ⅱ
- (2) 二方曳索の場合……………Ⅲ

として考究してきたことになる。

したがって, 冒頭で述べたごとく, 二方曳索の場合として求めた諸式に, 機械的に $T_{1D}'=0$ ($H_1'=0$, $V_1'=0$) なる条件を付加しても, 一方曳索の場合に関する式にはならないわけである。

2) 式の形の比較

二方曳索の場合の §3・6 に掲げた各式と, 一方曳索の場合の §2・5 の各式とを形の上で, 比較してみると

(1) 総合荷重比

導入の条件が違うために形も違っている。

(2) 荷重点垂下比および荷重点軌跡

全く同形である。

(3) 曳索の張力

同形ではないが, 一方曳索の場合は, 二方曳索の場合の式において $H_1'=0$ と置いた形になつている。

(4) 軌索の張力

(2)の場合と同様に, 全く同形である。

結局, 軌索に関する各式は全く同形であるから, b (したがって a) を, 一方曳索の場合と二方曳索の場合とで区別さえすれば, その取り扱いが共通に考えてよい。この各式の形

は、従来の加藤¹³⁾²²⁾の各式の形とも同じである。

3) 曳索の張力に関する共通式

上述のように、曳索の張力に関する式だけ形が違うから、両者の共通式を求める。(3・54)式より

$$\left. \begin{aligned} b &= n + \frac{\varepsilon_1 k}{2} + \frac{\varepsilon_2(1-k)}{2} - 4s\varepsilon_1 F \cdot r \cdot g \\ F &= \frac{T_A'}{w_1' l} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3\cdot55)$$

として

- (1) 下方曳索張力の水平分力

$$H_1' = w l \varepsilon_1 g F$$

- (2) 上方曳索張力の水平分力

$$H_2' = w l \left\{ \varepsilon_1 g F + b \frac{\tan \theta}{1 + \tan \theta \tan \beta} \right\} \dots\dots\dots(3\cdot56)$$

または

$$H_2' = w l \left\{ \varepsilon_1 g F + b \frac{\sin 2\theta}{2} \right\} \dots\dots\dots(3\cdot57)$$

- (3) 上方曳索支点張力

$$T_B' = w_2' l (1-k) \Phi'$$

ただし

$$\left. \begin{aligned} \Phi' &= \frac{\sqrt{1 + (\tan \beta + 4s_2')^2}}{8s_2'} \\ s_2' &= \frac{\varepsilon_2(1-k)}{8 \left\{ \varepsilon_1 g F + b \frac{\tan \theta}{1 + \tan \theta \tan \beta} \right\}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(3\cdot58)$$

- (4) 曳索最大張力 ($k=1$ のとき)

$$T'_{max} = w l \varepsilon_1 (F + \sin \phi) + P \sin \theta_B$$

ただし

$$\tan \theta_B = \tan \phi + 4s(1+2b_u) \dots\dots\dots(3\cdot59)$$

となる。

一方曳索の場合は…………… $\varepsilon_1=0$ ($\varepsilon_2=\varepsilon$)

二方曳索の場合は…………… $\varepsilon_1=\varepsilon_2$ ($=\varepsilon$)

と置けばよい。

IV 摘 要

曳索付き索道では、曳索張力も荷重と共に外力として軌索に働くわけであるが、これらの働きは、合力一つの働きで置きかえることができる。その合力は、荷重軌跡曲線の法線と同一方向で一般に鉛直線とはある角度をなしている。このような合力の作用している軌索について、荷重点垂下比の理論式を求めた。ついで、荷重点軌跡を仮定して、この理論式を実際に計算したところ、式中の一部は実用的には無視できる程度の値であつたので、これを省略して、荷重点垂下比の実用計算式を見出した。さらに、この式を基礎として曳索付き運材索道の設計要素の実用的計算式を誘導した。

誘導した設計計算式の主なものは、次のようなものである。

計算式は、軌索は両端が固定され、その上を単一集中荷重が、一方曳索によつて、あるいは二方曳索によつて運搬される形式の索道に適用できる。

I] 索道諸元の記号

l : 支間水平距離

ϕ : 支間傾斜角 $\phi > 0$

P : 荷重の大きさ

α : 荷重点下方支点間傾斜角

β : 荷重点上方支点間傾斜角

w : 軌索重量が水平方向に等分布していると考えたときの、水平方向等分布重量

w' : 同じく曳索の水平方向等分布重量

T_A' : 曳索の下方調整重錘の重量

II] 上方総合荷重比

1) 一方曳索の場合

$$b = n + \frac{\varepsilon(1-k)}{2} \dots\dots\dots [1]$$

ただし

$$n = \frac{P}{wl} \quad \varepsilon = \frac{w'}{w}$$

2) 二方曳索の場合

(i) 一般式

$$b = n + \frac{\varepsilon}{2} - 4s\varepsilon F \cdot r(b_1) \cdot g(b_1) \dots\dots\dots [2]$$

ただし

$$b_1 = n + \frac{\varepsilon}{2} - 4s\varepsilon F \cdot r(b_0) \cdot g(b_0)$$

$$b_0 = n + \frac{\varepsilon}{2}$$

$$F = \frac{T_A'}{w'l}$$

$$r(b) = \frac{1+2b}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}} : \text{負荷索増垂係数 (附図 I)}$$

$$g(b) = \frac{\frac{k}{2F} \tan \alpha + \sqrt{1 + \tan^2 \alpha - \left(\frac{k}{2F}\right)^2}}{1 + \tan^2 \alpha} : \text{水平張力係数 (附図 III)}$$

$$\tan \alpha = \tan \phi - 4sr(1-k)$$

(ii) $k=1$ のとき — b_u

$$b_u = \frac{n + \frac{\epsilon}{2} - 4s\epsilon F \cdot g_u}{1 + 8s\epsilon F \cdot g_u} \dots\dots\dots [3]$$

ただし

$$g_u = \frac{\frac{1}{2F} \tan \phi + \sqrt{1 + \tan^2 \phi - \left(\frac{1}{2F}\right)^2}}{1 + \tan^2 \phi}$$

(iii) $k=0.5$ のとき — b_m

$$b_m = n + \frac{\epsilon}{2} - 4s\epsilon F \dots\dots\dots [4]$$

III] 荷重点垂下比 — s_D

$$s_D = \frac{4s(1+2b)(k-k^2)}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}} = 4sr(k-k^2) \dots\dots\dots [5]$$

IV] 荷重点軌跡曲線の勾配 — $\tan \theta$ (附図 II)

$$\tan \theta = \tan \phi - 4s \frac{(1+2b)(1-2k)\{1+6(b+b^2)(k-k^2)\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}} \dots\dots\dots [6]$$

V] 曳索の張力

1) 上方曳索の支点張力 — T'_B

$$T'_B = w'(1-k)\phi' \dots\dots\dots [7]$$

ただし

$$\phi' = \frac{\sqrt{1 + (\tan \beta + 4s_2')^2}}{8s_2'} : \text{最大張力係数}$$

$$\tan \beta = \tan \phi + 4srk$$

(i) 一方曳索のとき

$$s_2' = \frac{\epsilon(1-k)}{8b \left(\frac{\tan \theta}{1 + \tan \theta \tan \beta} \right)}$$

(ii) 二方曳索のとき

$$s_2' = \frac{\epsilon(1-k)}{8 \left\{ \epsilon g F + b \frac{\tan \theta}{1 + \tan \theta \tan \beta} \right\}}$$

2) 曳索最大張力—— T'_{max}

(i) 一方曳索のとき

$$T'_{max} = P \sin \theta_B \dots\dots\dots [8]$$

ただし

$$\tan \theta_B = \tan \phi + 4s(1+2n)$$

(ii) 二方曳索のとき

$$T'_{max} = T'_A + w'l \sin \phi + P \sin \theta_B \dots\dots\dots [9]$$

ただし

$$\tan \theta_B = \tan \phi + 4s(1+2b_u)$$

IV] 軌索の張力

1) 下方支点側軌索の張力の水平分力—— H_1

$$H_1 = \frac{wl\sqrt{1+12(b+b^2)(k-k^2)}}{8s} \dots\dots\dots [10]$$

2) 上方支点側軌索の張力の水平分力—— H_2

0.1 ≤ k ≤ 0.9 の k に対し

$$H_2 = \frac{wl\sqrt{1+12(a+a^2)(k-k^2)}}{8s} \dots\dots\dots [11]$$

ただし

$$a = b(1-2s \sin 2\theta)$$

3) 軌索最大張力—— T_{max}

$$T_{max} = wl(1+a_m)\phi \dots\dots\dots [12]$$

ただし

$$a_m = b_m(1-2s \sin 2\phi)$$

$$\phi = \frac{\sqrt{1+(\tan \phi + 4sZ)^2}}{8sZ} : \text{最大張力係数}$$

$$Z = \frac{1+a_m}{\sqrt{1+3(a_m+a_m^2)}} : \text{垂下比当値係数}$$

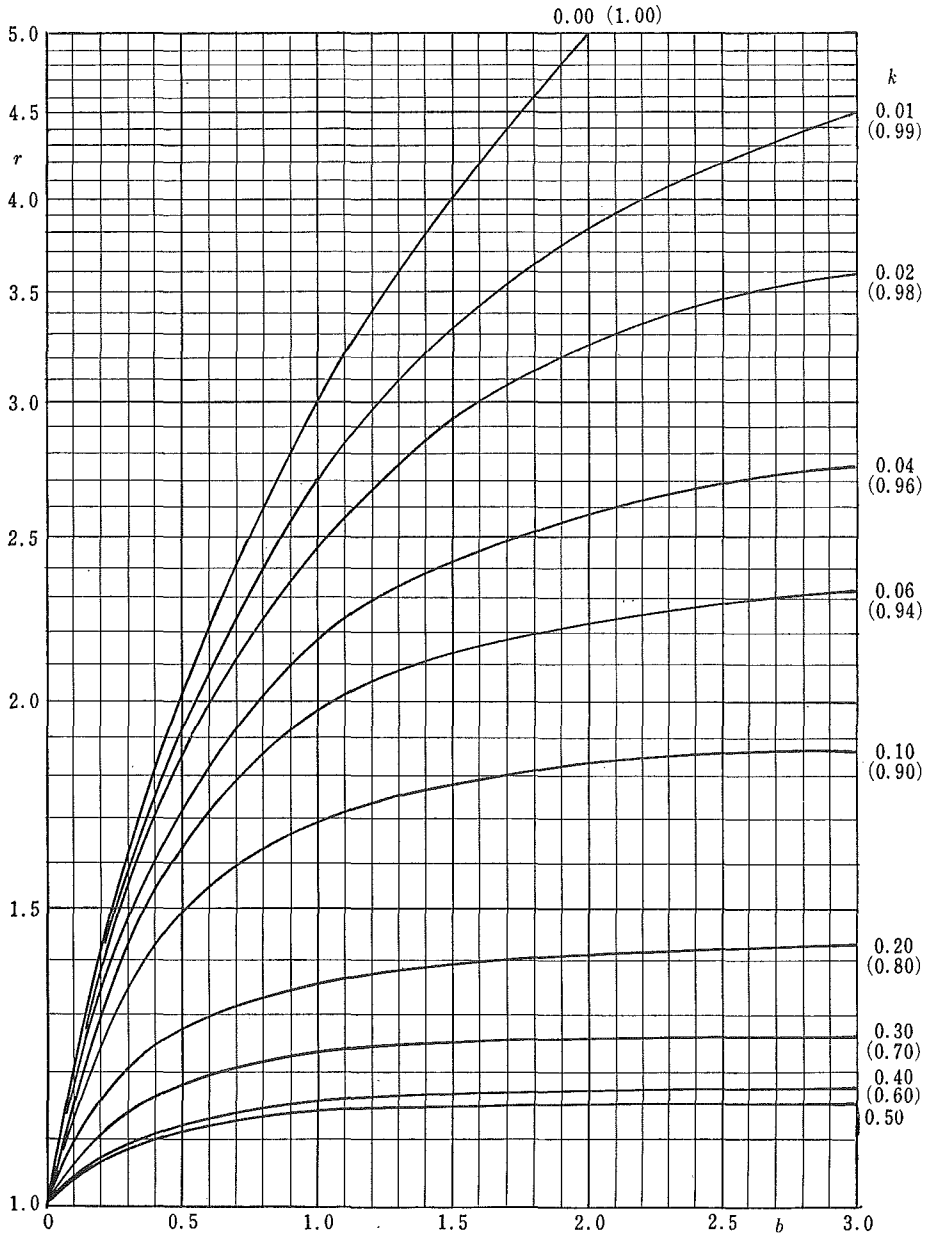
数式は、曳索の影響を無視して荷重は軌索に固定されているものとして導いた、加藤²²⁾の式と同形のものが多く、加藤式の n の代わりに、 a または b を使用するだけの相違であるからその計算も簡単であり、また従来の算出図表を借用できるから便利である。計算値は(表2-4)、(表3-3) および (表3-4) に見られるとおり、実用的には十分の精度をもっている。

要するに、総合荷重比をその場合に応じて計算してやれば、あとは各式にその値を代入して、荷重点垂下比、荷重点軌跡、曳索および軌索の最大張力などが簡単に算定できる。

したがって、従来、曳索の影響を無視して設計してきた、複線式索道の場合も、上記の設計計算式を用いれば、曳索を同時に考慮した合理的な設計が可能になった。

附図I 増垂係数算出図表

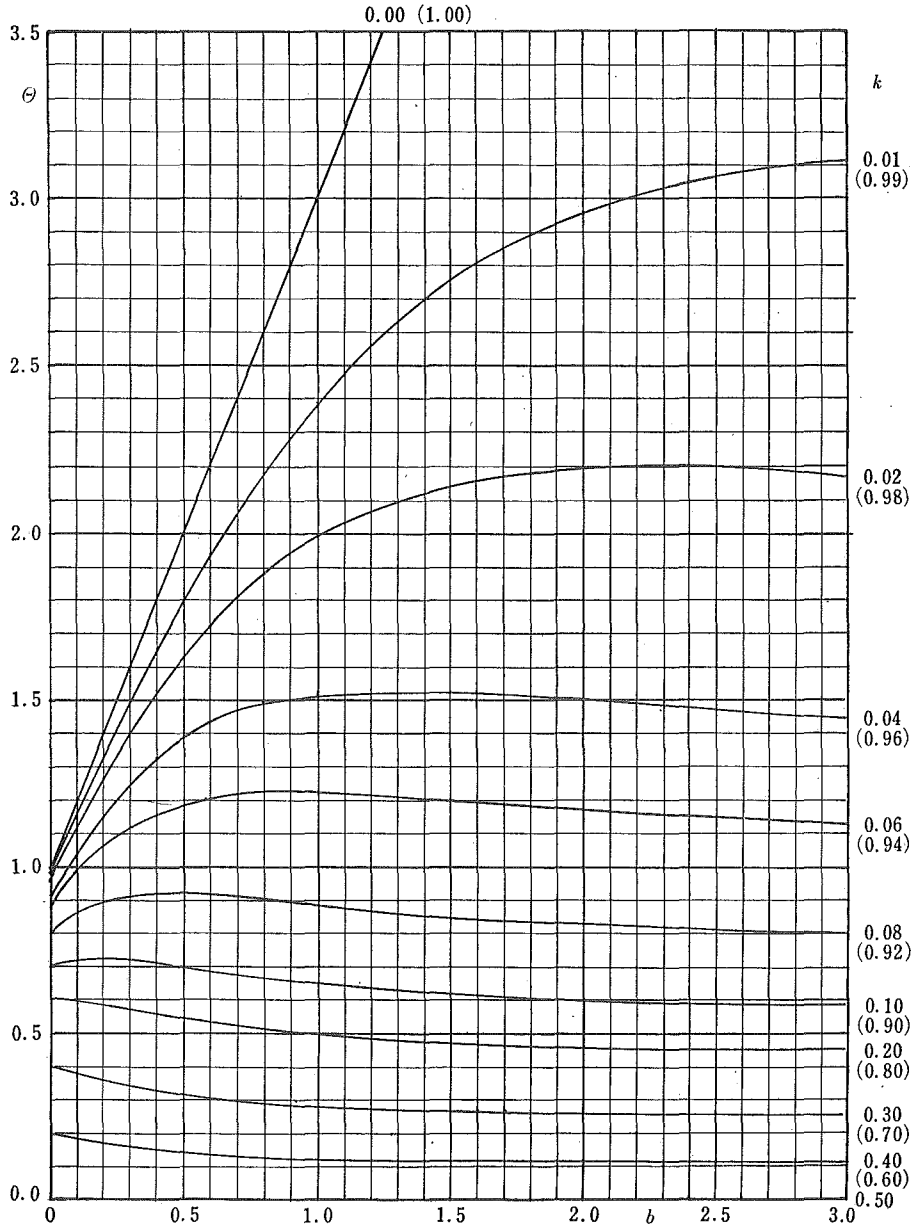
$$r = \frac{1+2b}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{1/2}}$$



附図Ⅱ θ 算出図表

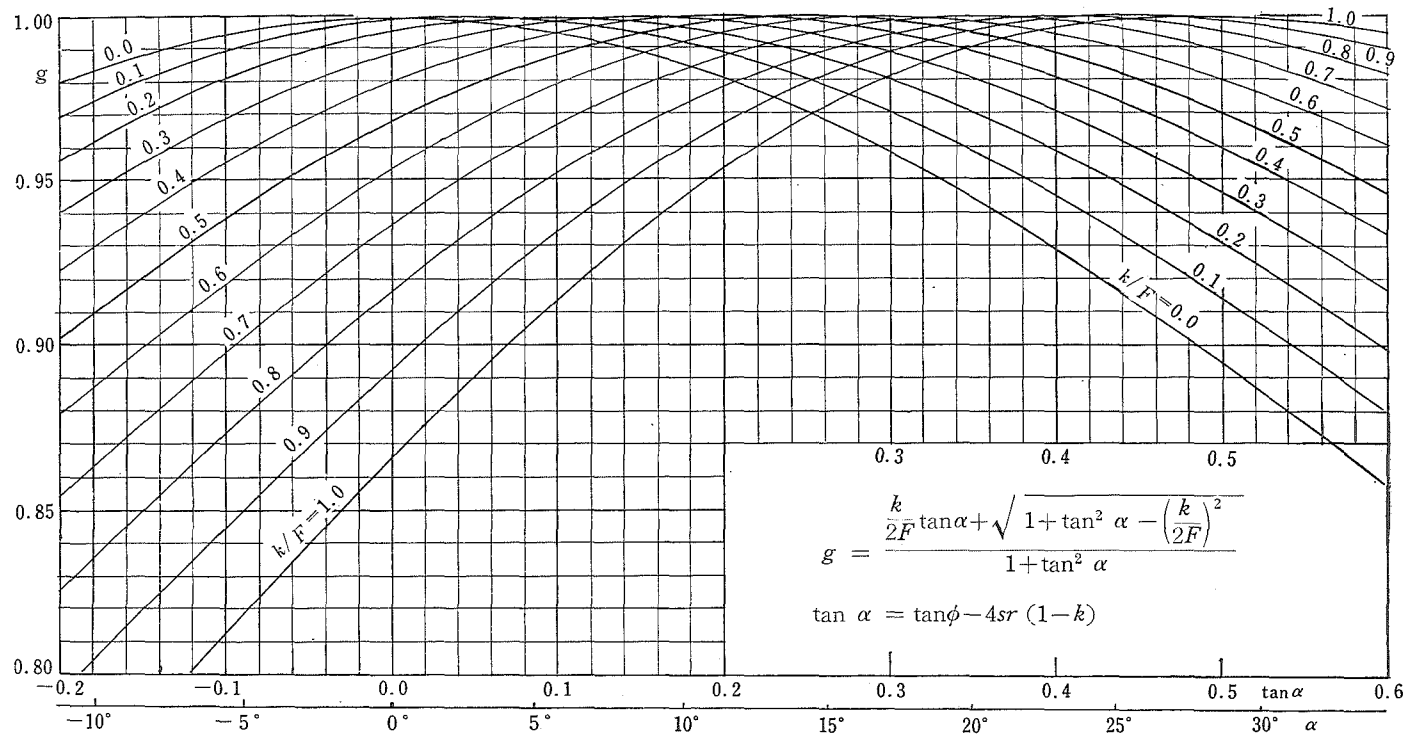
$$\tan\theta = \tan\phi - 4s\theta$$

$$\theta = \frac{(1+2b)(1-2k)\{1+6(b+b^2)(k-k^2)\}}{\{1+12(b+b^2)(k-k^2)\}^{3/2}}$$



注 () 内の k のときは $\theta < 0$ である

附図Ⅲ 水平張力係数算出図表



鳥山：曳索付き運材索道の理論と実用的解法

文 献

- 1) AMMAN, O. und GRUENEWALDT, C. V. : Bergbahnen, Berlin 1915
- 2) STEPHAN, P. : Die Drahtseilbahnen, Berlin 1916
- 3) DUHN, J : Seilbahnen, Wien u. Berlin 1933
- 4) 西垣 普作 : 鉄索の理論および計算法, 日林誌 1, 1921
- 5) 渡辺 治一 : 簡易索道の軌索の設計について, 日林誌 13-4, 9. 1931
- 6) 苦名孝太郎 : 森林索道に関する静力学的問題の新解法, 東大演報 19, 1934. 21, 1935. 23, 1937.
- 7) 苦名孝太郎 : 架空索道の理論と計算, 1953
- 8) 苦名孝太郎 : 定索長式索道における荷重点の軌跡 (1, 2) 日林誌 37-4, 6, 1955
- 9) 苦名孝太郎 : 定張力式索道における荷重点の軌跡, 日林誌 37-9, 1955
- 10) CARSTARPHEN, F. C. : Aerial Tramway, Trans. A. S. C. E., 1928
- 11) 加藤 誠平 : パラボリック・ケーブルの静力学的性質, 日林誌 12-10, 1930
- 12) 加藤 誠平 : 運材用索道主索の設計と検定, 林業普及シリーズ 40, 1954
- 13) 加藤 誠平 : 運材用索道主索の設計および検定法に関する研究, 東大演報 49, 1955
- 14) 加藤誠平・堀高夫 : 多荷重架空索の張力算定法 (1, 2, 3), 日林誌 36-11, 12, 1954. 37-1, 1955
- 15) 渡辺 治人 : 交互式索道の索線の曲線, 長さおよび張力に関する静力学的研究, 九大演報 7, 1935
- 16) 渡辺 治人 : 調整式交互式架空索道の実用的解法, 九大演報 13, 1943
- 17) 堀 高夫 : 滑車荷重を受ける架空索の拋物線索理論 (1, 2), 日林誌 37-1, 2, 1955
- 18) 堀 高夫 : 曳索の作用を受ける架空索の垂曲線索理論による新解法 (1, 2), 日林誌 37-3, 5, 1955
- 19) 本田三雄・上田実・斉藤敏彦・風間貢・三村和男 : 集材機作業索に関する研究 (1), 林試報告 93
- 20) 本田三雄・上田実・斉藤敏彦・風間貢 : 集材機作業索に関する研究 (2), 林試報告 94
- 21) 苦名孝太郎 : 釣瓶式架空索道曳索の最大張力 (1, 2), 日林誌 35-7, 1953. 36-5, 1954
- 22) 加藤 誠平 : 林業用索道設計法, 1959
- 23) 長野営林局 : 索道集, 1954

Summary

Practical Solution of the Theory on the Logging Cableway on Which a Carriage Load is Driven by Tractor Cable

Kiyomi TORIYAMA

In the case of the logging cableway on which a carriage load is driven by tractor cable, as is called the "Bi-Cable" system cableway, tensions of the tractor cable, as carriage load, act upon the main cable as external forces.

The compound effect of these forces on the main cable, however, may be equivalent to that caused only by the resultant force which has the same direction-cosine as the normal of the locus of the loading point.

Author first obtained a theoretical formula with regard to the seg-span ratio at the loading point of the cable on which such resultant force acts, and then from this derived the practical formulas by omitting small part negligible in practical use, as was acknowledged after experimental calculation using a few provisional loci.

He further found, regarding the above formula as a fundamental, practical formulas about the bi-cable system cableway, which could be applied to the estimation of designing elements, such as the locus of the loading point, the maximum tension of the cable etc..

These formulas, thus obtained, are as arranged and shown in the preceding chapter.

It will soon be known that most of them are similar in form, excepting that n is replaced by b , to the useful formulas about the cable on which a load is fixed, which were obtained by the foregoing investigators Mr. KATO and Mr. HORI.

When the values of designing elements are required, let b be calculated from the suitable formula corresponding to the cable type among [1]~[4], and the b 's value be put into the formulas [5]~[12], and then needed values are able to be got easily.

Author suggests that by adopting this method it is possible to design the bi-cable system cableway rationally and briefly.