

プレテンションドケーブルトラス方式による新架設工法について

九州大学工学部教授 水野高明

大神製罐 K K 大神龍馬

九州大学工学部助手 〇波辺 明

九州大学大学院学生 出光 隆

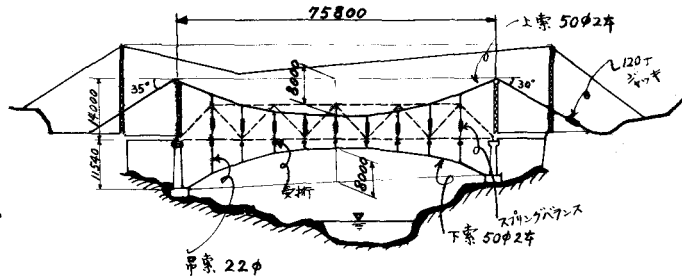
1. まえがき

従来、鋼橋架設に一般的に用いられてきたケーブルエレクション工法は主として次の様な短所を有している。

適切な安全点検が行われていないので、各部の安全率を過大にとり、経済的損失を招く。また逆に経済性を考慮しすぎる場合、荷重の増加に伴う作業員の危険に對する心労が非常に大きい。

ケーブルに部材を横載するに従い、モーメントの変化によつて部材の位置が変化し作業が困難となる。またケーブルのたわみが出つくすまで部材の連結ができず、その間、風圧等による災害の危険に伴う。

図 - 1



これらの短所を除き、安全且つ迅速に架設を進め得る新しい工法を述べ、これらに関連して行なつた室内模型試験、現場実橋試験等の結果を提示し理論的実験の考察を加える。図-1に示す如く、本工法は従来の工法の主索の他に新に下索を加え、緊張計を挿入した吊索でプレテンションを導入して、プレテンションド・ケーブルトラス（筆者等仮称する）を構成するもので、吊索間に受桁を渡す事によつて全く安全なる地上作業に転換出来る。次に本工法の長所を列挙すると

- 工事開始前に最も危険な荷重に対する点検を行なうから破壊に対する安全性が極めて高い。
- 工事のためのプレテンションド・ケーブルトラス橋を構成するから、施工上極めて安全であり、従つて工事を迅速に進め得る。
- プレストレスの為、載荷点下のケーブルが圧縮材として働らく結果、上索の負担率が軽減され、僅かの引張力増の範囲内で十分な安全性が点検できる。
- 以上の結果かなりの経済性が生ずる。

2. 室内模型試験

室内模型試験の方法、及びその結果を図-2、図-3に示す。荷重載荷点より上の吊索に生ずる引張力の増加は、九大式テンションメーターを使用した場合、載荷荷重の41%となり、スプリングバランスを使用した場合、僅か6%となる。

3. 本工法の基本原理

図 - 2

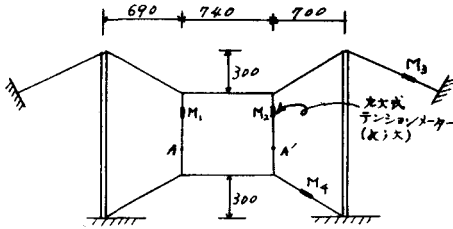
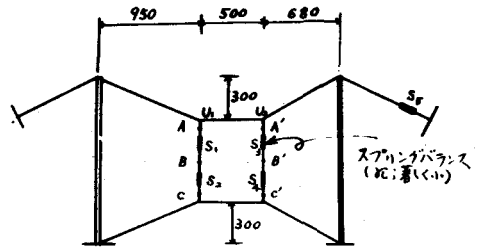


図 - 3



実験結果

荷重	テンションメーターの荷重変化 (kg)			
	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄
A点 0 A'点 0	65.0	65.0	123	112
A点 25kg A'点 0kg	79.5	66.1	125	97.4
A点 25kg A'点 25kg	69.4	70.6	131	69.2
A点 50kg A'点 25kg	88.5	75.0	140	56.0
A点 50kg A'点 50kg	87.4	84.0	149	31.4

実験結果

荷重	変位 (mm)		スプリングバランスの読み (kg)				
	U ₁	U ₂	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
0	0	0	5.75	5.60	7.05	6.90	19.0
A点 5kg A'点 5kg	22	20	5.05	4.75	6.08	6.05	26.5
B点 5kg B'点 5kg	16	3	7.80	3.10	8.05	5.05	22.5
C点 5kg C'点 5kg	5	7	6.30	6.15	7.05	6.90	19.0

(1), ケーブルにプレストレスを与え上、下端を定着した場合。

吊索一本については、荷重による上索、下索の変位を無視すれば、図 - 4 に示す如くケーブルを A、C 点に定着し、プレストレス P を与えた構造とみなし得る。ケーブルにプレストレスを与えれば、ケーブルはそのプレストレスの範囲内では圧縮材としても働き得る。いま A C 間の任意の点 B に荷重 W を載荷すれば、A B 部分が分担する荷重は $\overline{W}_{AB} = nW/(m+n)$ (引張力), B C 部分が分担する荷重は $\overline{W}_{BC} = mW/(m+n)$ (圧縮力) となる。 $100m/(m+n) = \beta$ (β を低減率とよぶ)……(1) とおけば A B 部分の引張力は $P + (1 - \beta/100)W$, B C 部分の引張力は $P - \beta W/100$ となる。結局 β が 100% に近づく程、載荷荷重による A B 部分のケーブル引張力はほとんど増加しなくなる。

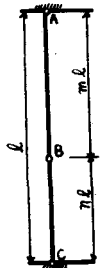
(2), スプリングバランスを A B 間に挿入する場合。

長さ L_B のスプリングバランスを、或るケーブルと見なす時の等価長さ L は次の様に求められる。いま、ケーブルの弾性係数; E、断面積; A とし $E A = \kappa$ とおく。またスプリングバランスの E A に該当するものを κ_s とおく。荷重 W が載荷された時、両者とも等しいのび ΔL を生ずる長さをケーブルの場合 L 、スプリングバランスの場合 L_s とすれば、ケーブルについては次式を得る。 $WT/EA = \Delta L/L \therefore \Delta L = LW T/\kappa$ ……(2) スプリングバランスについても同様に $\Delta L = L_s WT/\kappa_s$ ……(3), (2) = (3) より $L = \kappa L_s/\kappa_s$ ……(4) 図 - 5 の場合、スプリングバランスの等価長さは(4)式より $\kappa a l/\kappa_s$ となり、結局 A B 間には長さ $m l - a l + \kappa a l/\kappa_s$ のケーブルが存在するとみなして良い。よつて B 点に荷重 W を載荷する場合次式をうる。

$$\overline{W}_{AB} = \frac{n}{m + n + (\kappa/\kappa_s - 1)a} \cdot W \quad (5)$$

(6)

図 - 4



$$W_{bc} = \frac{m + (\kappa/\kappa_s - 1)a}{m + n + (\kappa/\kappa_s - 1)a} \cdot W \quad \text{----- (6)}$$

$$\therefore \beta = \frac{m + (\kappa/\kappa_s - 1)a}{m + n + (\kappa/\kappa_s - 1)a} \cdot 100 \quad \text{----- (7)}$$

(3), サグを考慮する場合。

以上の考察は上索、下索の荷重による変位を無視した場合についてであるが実際には上索、下索も変位する。従つて吊索1本については、図-6に示す如く上、下サグ f_u, f_e の影響を考慮した構造について考えるべきである。図-7に示すように、サグ f が荷重 W より f_w となる場合、サグの変位は $\Delta f = f_w - f$ となる。さて、 $f = l \sin \theta$, $f_w = l_w \sin \theta_w$

$$\text{従つて} \quad \Delta f = l_w \sin \theta_w - l \sin \theta \quad \text{----- (8)}$$

$$l \cos \theta = l_w \cos \theta_w \quad \text{----- (9)}$$

$$[2(l_w - l)/l] EA \sin \theta_w = W \quad \text{----- (10)}$$

$$\cos^2 \theta_w + \sin^2 \theta_w = 1 \quad \text{----- (11)}$$

(8), (9), (10), (11) 式より $W, \Delta f$ の関係式を求めれば

$$\left[\Delta f/l + \sin \theta - W/2EA \right]^2 + \frac{\cos^2 \theta (\Delta f/l + \sin \theta - W/2EA)^2}{(\Delta f/l + \sin \theta)^2} = 1 \quad \text{----- (12)}$$

となる。

W が小さい場合、 Δf はほぼ W に比例する(4)計算結果に示す)から、サグの、ケーブルの EA に該当するものを κ_g とすれば $W = \kappa_g \Delta f/f$, 従つて $\kappa_g = W/(\Delta f/f)$ ----(13)となる。よつてサグ f をケーブルとみなす時の等価長は(4)式より $L = \kappa f/\kappa_g$, 従つて $L = \kappa \Delta f/W$ ----(14) となる。

図-6において上サグの等価長を L_u , 下サグの等価長を L_e とすれば、B点に荷重 W が載荷された場合、低減率 β は

$$\beta = \frac{ml + (\kappa/\kappa_s - 1)al + L_u}{ml + nl + (\kappa/\kappa_s - 1)al + L_u + L_e} \cdot 100 \text{ となる。}$$

(4), 計算結果

ケーブルの長さとして、図-1に示す現場実験略図の最も危険な両端吊索の長さを選び、次に示す4つの場合について、それぞれ数値計算を行なう。 i) 図-4に示す場合 ii) 図-5に示す場合 iii) 図-6について $f_u = f_e$ の場合。 iv) 図-6について $f_e = 2f_u$ の場合。 いま諸条件を列挙すれば、上索ケーブルは弾性係数; $E = 0.8 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$, 断面積; $A = 2.5 \text{ cm}^2$, $\kappa = EA = 20 \times 10^8 \text{ kg/cm}$ 吊索ケーブルは弾性係数; $E = 0.8 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$, 断面積; $A = 1.94 \text{ cm}^2$, $\kappa = 1.552 \times 10^8 \text{ kg}$ プレストレス; $P = 4 \text{ トン}$, 載荷荷重; $W = 3 \text{ トン}$, $l = 17 \text{ m}$, $m = \frac{8}{17}$, $n = \frac{9}{17}$, 更に ii) の場合、 $a = \frac{1.8}{17}$, スプリングバランスは長さ 1.8 m で、荷重 10 トン の時 197 mm のびる。

したがつて κ_s は、 $\kappa_s = W/(\Delta f/L_s)$ より $\kappa_s = 9.14 \times 10^4 \text{ kg}$ となる。

(67)

図-5

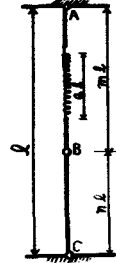


図-6

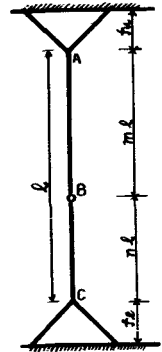
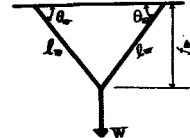
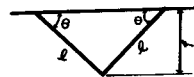


図-7



また iii) の場合 (図-7) $\ell = 100.5\text{m}$, $f_u = f_\ell = 1\text{m}$

とする。試算法によつて W に対する Δf を求め表示すると表-1 の様になり、 Δf はほとんど W に比例する。

サグの変化 Δf は荷重 1 トンにつき $\Delta f = 21.0\text{mm}$ となる。

よつてサグ f の等価長 L は、(14) 式より $L = 32.6\text{m}$ 。

iv) の場合、 $\ell = 100.5\text{m}$, $f_u = 1\text{m}$, $f_\ell = 2\text{m}$ とする。

iii) と同様に、サグ f_ℓ の等価長は $L = 9.8\text{m}$ となる。

以上の条件より、(1)、(7)、(15) 式より低減率 β 、 A_B 、

B C 部材の分担荷重 W_{AB} , W_{BC} 、並びに引張力 $P + W_{AB}$ 、

$P - W_{BC}$ を求め表-2 に示す。

4. 現場実橋試験

従来の主索の他に、新に下索を橋脚に定着した。

図-1 に示す如く、上下索を 9 本の吊索で結び、プレストレストコンクリートを与え、安全確認後 4 トンに増した。橋梁部材、150 トン、216 トン、270 トンを順次各吊索に載荷した場合、各スプリングバランスに生じた引張力増加の平均値は、それぞれ、0.615 トン、0.680 トン、0.685 トンであつた。各載荷段階における低減率を計算すれば、150 トンの時、 $\beta = 59.0\%$ 、216 トンの時、 $\beta = 68.5\%$ 、270 トンの時、 $\beta = 67.0\%$ となる。

5. 結論

現場実橋試験において、前記した如き、この工法の長所が実証された。図-8 にその有利性が架設進行度表として示されている。

この試験の結果、低減率は、

$\beta = 59 \sim 69\%$ となつてゐるが、これは上、下サグを等しくとつたため、表-2 の計算結果 iii) とほぼ一致してゐる。

下サグを上サグより大きくとれば計算結果 iv) に示す如く、低減率は 80% 近くまで高まる。

更にスプリングバランスを用いた室内模型試験に示す如く、載荷点より上に、のび易いケーブル、スプリングバランスを用い

れば 80~90% の低減率が得られ、経済性も一層高まると考えられる。

このプレテンションドケーブルトラスを厳密に応力解析することは極めて困難であり、また、風荷重の影響もあるのでこれらも併せ考えた簡単な実用計算式を目下研究中である

本工法においてプレストレッシングによる力の垂直成分はタワーに軸力を与えるのみで、水平成分だけが橋脚に力を及ぼすことになる。

しかしながら多スパンにわたる場合には他スパン側の力と相殺され、橋脚安定上の問題は解消する。

また本工法では従来のごとき特に熟練した現場作業員を必要とせず、地上作業と同程度の技術で安全、迅速且つ経済的に施工できる。

長大スパンの場合程、経済性は高まるものと考えられる。

表-1

$W_{\text{トン}}$	1	2	3	4	5
Δf_{mm}	24.1	47.2	68.3	89.4	109.5

表-2

	$\beta\%$	W_{AB}	$P + W_{AB}$	W_{BC}	$P - W_{BC}$
i	47.0	1.59	5.59	1.41	2.59
ii	80.4	0.59	4.59	2.41	1.59
iii	62.5	1.13	5.13	1.87	2.13
iv	78.7	0.64	4.64	2.36	1.64

図-8

