

# プレテンションド ケーブル トラス構成による 橋梁架設新工法に関する研究<sup>†</sup>

STUDIES ON THE ERECTION METHOD OF BRIDGE BY MEANS  
OF COMPOSING THE PRETENSIONED CABLE TRUSS

渡辺 明\*・出光 隆\*\*・大神 龍馬\*\*\*・飯田 一雄\*\*\*\*  
By Akira Watanabe, Takashi Idemitsu, Tatsuma Ogami, Kazuo Iida

## 1. 緒 言

近年、橋梁のスパン長大化へのすう勢が強く、その設計技術の進歩には目をみはるものがある。しかしながら、その架設技術に関しては、前者にくらべて遅れをとっている感じが強く、一部の特殊な技能者の手にゆだねられている現状にある。

一般に架設工法の選定に当っては、構造物の設計内容と現場の地形、環境などを考慮して、安全、かつ円滑に実施し得る工法を選定すべきであることは論をまたないが、なかんずく、近時、工事の大型化、複雑化にともない増大しつつある建設災害の防止のためにも「安全工法」を確立する必要が痛感される。表題に掲げた新架設工法は、在来ケーブル エレクション工法の主索（新工法では上索）のほかに、新たに下索を加え、両索間を、張力計を挿入した吊索で結び、プレテンションを導入して Pretensioned Cable Truss（筆者ら仮称、PCT と略称）を構成するもので、両側の吊索間に受けりを渡すことによって全く安全なる地上作業に転換できることになる。しかも、プレテンション作業は、そのまま吊索、主索およびアンカーなどの安全点検を兼ねることになるから、架設構に対する不安は工事開始前に取り除かれ、また、ケーブルにプレテンションが導入されているため、載荷点下のケーブルが圧縮材として働く結果、上索の荷重負担率が軽減され、実荷重載荷による上索引張力の増加は小さい<sup>1), 2)</sup>。

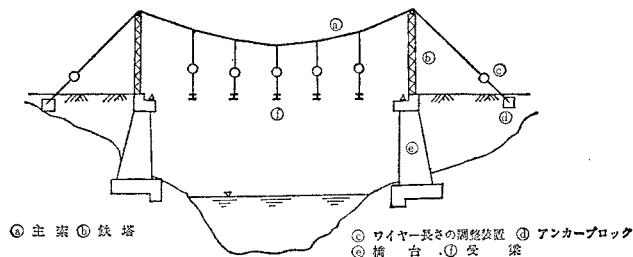
本文では、2. に、在来工法と新工法の比較を述べ、3. には、まず、室内予備実験結果を示し、ひきつづきそれより導かれる新工法の基本原理について説明した。また、筆者らは、新工法独特の力学的挙動に密接に関与する要素として、等価長、低減率などの考え方を導入したが、それらの計算法を 4. に掲げた。5. では、新工法の実橋試験結果と、筆者らが導いた理論計算の結果と

対比し、最後に、新工法が有する 2, 3 の問題点、すなわち、風荷重、スプリング バランス、ザクサグ比、そして上索や下索のアンカーの問題などにも触れて、6. に示した。

## 2. 在来ケーブル エレクション工と新工法

(1) 在来ケーブル エレクション工法の有する問題点  
図-1 は、在来工法の概要を示したもので、その有す

図-1



る問題点を列挙すればつぎのとおりである。

a) 最大荷重に対する適切なる安全点検が行ないにくいため、各部の安全率を過大にとり経済的損失を招く。一方、経済性を強調して安全率を低くとれば、作業員の、危険に対する心理的負担が非常に大きくなる。

b) 宙吊り作業であるから、組立作業が困難であり、台風時などに大きな災害を招くおそれがある。

c) 一般に、ケーブル エレクション工法においては、ターンバックル、ワイヤークリップなどの締付部、継手金具類が非常に多く、したがって、それらのうち、1箇所でも不完全であれば危険であり、それに起因する災害が、従来、最も多く記録されている。しかるに、それらに対する点検が行ないにくいので、作業員が安心して仕事ができない。

## (2) プレテンションド ケーブル トラスを構成して架設する方法

新工法は、在来ケーブル エレクション工法の前記短所を除かんとするもので、その概要を示せば 図-2、写真-1、写真-2 のとおりである。すなわち、在来工法の主索①のほかに、新たに下索⑤を加え、両索間を、張力計③を挿入した数本の吊索④で結び、緊張装置⑥によってワイヤーにプレテンションを導入して、プレテンシ

<sup>†</sup> 昭和 40 年 5 月土木学会第 20 回年次学術講演会にて一部発表

\* 正会員 工博 九州工業大学助教授 開発土木工学科

\*\* 正会員 工修 九州工業大学講師 開発土木工学科

\*\*\* 大神製缶株式会社

\*\*\*\* 正会員 日本橋梁株式会社

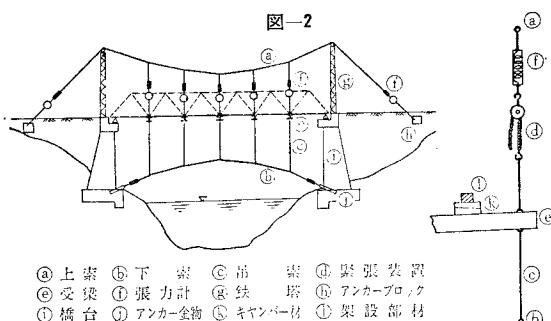


写真-1 プレテンションド ケーブル トラス結構完了

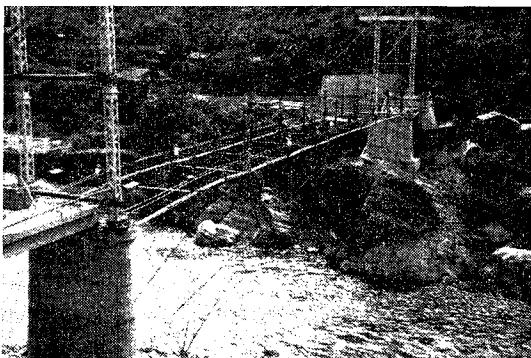
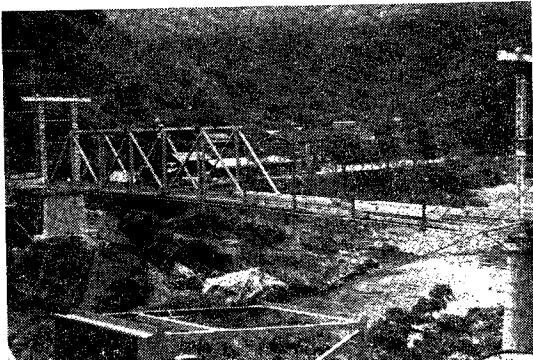


写真-2 新工法による橋梁架設工事



ヨンド ケーブル トラスを構成するもので、吊索間に受ぱり ⑥ を渡すことによって、全く安全なる地上作業に転換できる。

新工法の特徴を列挙すると、

① 工事開始前において、吊索、主索およびアンカーなどの最も危険な荷重に対する安全点検を行ない得るから、破壊に対する安全性がきわめて高い。

② 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のであるから、施工上、きわめて安全であり、したがって、工事を迅速に進め得る。

③ プレストレスが導入されているため、載荷点下のケーブルが圧縮材として働く結果、上索の負担率が軽減され、実荷重載荷による上索引張力の増加は小さい。

④ 以上の結果、かなりの経済性が生ずる。

### (3) 新工法の安全点検要領

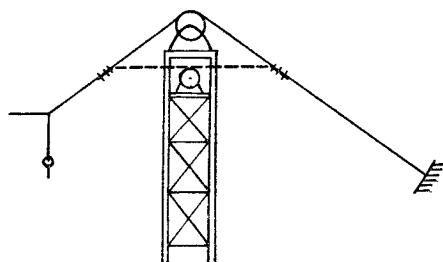
#### a) 吊索の点検

吊索の点検は、吊索中に挿入した緊張装置(図-2, ④)と張力計(図-2, ⑨)によって行ない、各吊索の張力と取付金具類の締付度、安全性を確認する。

#### b) 上索の点検

吊索の緊張と同時に上索、アンカー、下索および鉄塔などにも応力が生ずる。この場合、上索の最大張力は鉄塔頂部に生ずるので、安全を期して 図-3 のごとき予備ワイヤーを並結しておく。このようにしておけば、仮に上索が破断しても、ただちに吊索の張力が消滅するので上索応力も減少し、予備ワイヤーはケーブル トラスの自重を負担するのみとなり安全である。ただし、ケーブルの応力一ひずみ線図には降伏点が存在し、それ以後はひずみのみ進行して張力計の読みが静止することに留意しさえすれば、上索の破断は未然に防止できる。

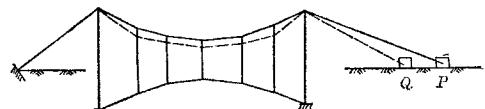
図-3



#### c) アンカーの点検

上索はアンカー ブロックに定着されるので、その定着強度について、周到なる安全点検を行なう必要がある。各吊索の緊張力を逐次増すことによって行なうが、その際、アンカー ブロックの安定に関しては、特別の設備をせずとも問題はない。すなわち、図-4 に示すように、ブロックが P 点より Q 点に、仮に滑動したとしても、ケーブルの自重に見合う重さ以上であれば浮上することはないし、それ以上の張力は導入できないから安全である。

図-4



#### d) 鉄塔の点検

鉄塔にかかる荷重が過大になると、鉄塔自身が座屈を始めるから、応力導入中は、トランシットなどで鉄塔の軸線を常に計測して、危険が予想される場合はケーブルの張力を解放し、鉄塔の補強を施せばよい。

### (4) 新工法の架設要領

架設はつぎのごとき順序と要領で行なわれる。

① 地上で無応力時の各索長をマーキングする。一

方, アンカーを造成しキャリヤー ケーブルを設置する。

- ② エレクション用門構天端に滑車を設置する。
- ③ 上索, 吊索, 下索でケーブル トラスを構成する。
- ④ 各吊索に, 設計荷重載荷時の張力の 1.5 倍の張力を与え, 仮設備(ケーブル, 繰手金物, アンカーなど)の安全を確認する。

⑤ 安全確認後, 吊索張力を設計張力まで引き下げる。

⑥ 架設を開始する。架設は橋台より中央に向って左右対称にすすめる。

⑦ 部材架設順序は, 下弦材→横げた→縦げた→下綫構→垂直材→斜材→上弦材→上綫構, の順とする。

⑧ 橋体を沓上に固定し, 架設を完了する。

⑨ 鈑締を行なう。

⑩ 床のコンクリートを打設する。ペイント塗装をする。

⑪ ケーブル トラスを解体する。

### 3. 室内予備実験と本工法の基本原理

本工法を思い立った最初の動機は, 架設作業の安全化を図ることにあった。すなわち, 永年, 橋梁の架設工事にたずさわり, 架設中のけた落下, 作業員墜落など, 痛ましい建設災害を経験した大神が, 何とか横方向の安定性を高めんとして, 新たに下索を加えたことに始まる。また, 近年の中小建設業界における求人難は深刻で, まして, 従来の宙吊り作業のような危険をともなう仕事に従事する特殊技能者がきわめて求めがたい現状にかんがみ, 未熟練の現地作業員でも成し得るような安全工法を, という切望にも根ざしていた。やがて, 渡辺・出光・飯田らに研究依頼があり, 共同実験と理論的研究を進めるうち, 本工法では, ケーブルにプレテンションが導入されているため, 載荷点下のケーブルが圧縮材として働き, また, スプリング バランスの効果と相まって, 上索の荷重負担率が軽減され, 上索引張力の増加が非常に小さいことが判明「安全工法」という目的に加うるに予期せぬ拾い物をする結果となった。

さて, 上索の荷重負担率が小さいという前記実験結果は, 当初, 容易に理解しにくく, 理論的な裏付け作業は非常に難航した。

しかしながら, 引張に弱いコンクリートにあらかじめ圧縮応力を導入するという, プレストレスト コンクリートの理論からヒントを得て, あらかじめ引張応力を導入しておきさえすれば, 本来, 引張材たるべきケーブルといえども圧縮材として働き得るはずであると考えたのと, 上下固定柱において, 柱の中間に載荷する場合, 上下端への荷重配分は, 載荷点からそれぞれの点までの距離に反比例するという理論を適用したことが, 本工法の謎を解く鍵となり, 予期しなかった本法のもう一つの妙

味を生かす第一歩ともなった。

本節では, 数多く行なった実験のうち, 代表的なものを示して結果を考察し, 本工法の基本原理を導く。

#### (1) 室内予備実験と測定結果

図-5 は, 本工法の基本的特性を明らかにする意味で実験した, 吊索 2 本のワイヤー トラスである。タワーには φ1" パイプを, また, ワイヤーにはピアノ線を用いた。いま, 各吊索のプレテンションを 5 kg とし, 1, 2 点にそれぞれ, 荷重 1 kg, 2 kg, 3 kg, 4 kg の順に載せた時のスプリング バランス  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G$  の読みは表-1 のとおりで, 上索に加わる負担率は実荷重には比例せず, きわめて軽減されていることがわかる。また, 載荷前に 21.5 kg であったアンカー張力  $G$  が, 各吊索に 4 kg ずつ載荷した後でも 21.6 kg にすぎないことも, 一般の常識では解しにくいところで, 筆者らも当初は信じがたい気持であった。いま, 上索の負担率が軽減される率を仮に低減率(逆にいえば下索の分担率を意味する)と名付ける。表-1 によれば, 実荷重の増加 4 kg 対し,  $G_1$ ,  $G_2$  などの引張力の増加量はわずか 0.3 kg にすぎないから, 結局,  $(4.0 - 0.3) = 3.7 \text{ kg}$  は載荷点より下の吊索, 下索などのなんらかの作用で負担された理屈となり, 低減率は  $(3.7 / 4.0) \times 100 = 93\%$  となる。なお, 下索のサグは大きいほど低減率は増大することが結果から判明した。

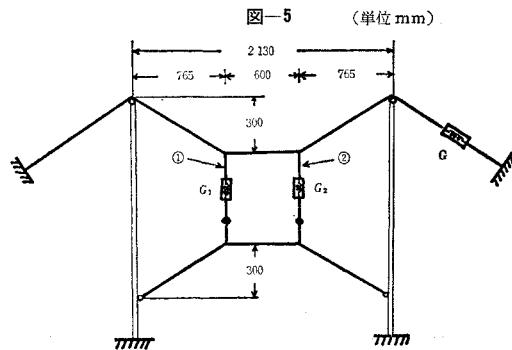


表-1

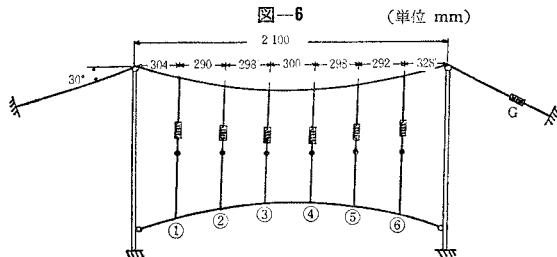
載荷番号	載荷状態		① $G_1$	② $G_2$	アンカー $G$
	①	②			
No. 0			5.0	5.0	21.5
No. 1	○	○	5.0	5.1	21.5
No. 2	○○	○○	5.1	5.1	21.5
No. 3	○○	○○	5.15	5.1	21.5
No. 4	○○	○○	5.3	5.3	21.6

(単位 kg)

図-6, 表-2 は 6 本の各吊索に 3 kg のプレテンションを導入したプレテンションド ワイヤー トラスに定荷重 2.8 kg を分布載荷させた場合の実験について示したものである。表-2 の載荷状態が示すとおり, 載荷番号

表-2

載荷番号	載荷状態	(1)		(2)		(3)		(4)		(5)		(6)		アンカーフラグ
		$f_1$	$G_1$	$f_2$	$G_2$	$f_3$	$G_3$	$f_4$	$G_4$	$f_5$	$G_5$	$f_6$	$G_6$	
No. 0		155	3.00	261	3.0	320	3.0	322	3.0	273	3.0	170	3.0	19.0
No. 1		155	2.95	260	2.9	319	2.9	324	2.9	277	3.0	176	3.65	19.2
No. 2		160	3.65	263	2.9	318	2.8	320	2.75	274	2.95	173	3.75	19.2
No. 3		157	3.60	258	2.8	314	2.7	323	2.8	282	3.75	178	3.75	19.2
No. 4		162	3.75	266	3.65	316	2.6	320	2.6	277	3.65	175	3.7	19.3
No. 5		159	3.60	263	3.5	316	2.4	328	3.5	280	3.65	175	3.55	19.3
No. 6		159	3.40	267	3.4	325	3.4	328	3.3	276	3.65	171	3.25	19.4

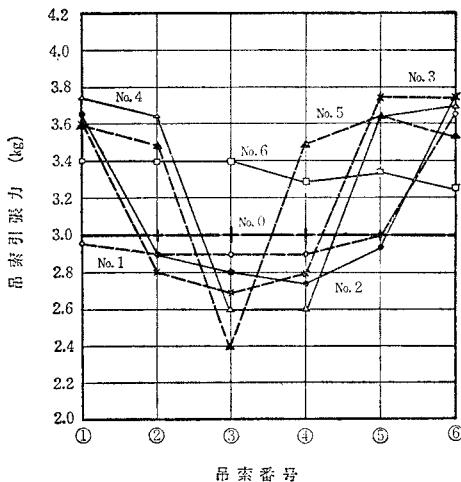
 $f$ ; (単位: mm)  $G$ ; (単位: kg)

No. 6 の等分布荷重の場合を除き、他はすべて偏分布荷重に対するもので、そのうち、載荷番号 No. 2, No. 4 は対称分布の場合である。 $f_1, f_2, f_3, \dots$  および  $G_1, G_2, G_3, \dots$  は、図-6 からもわかるように、吊索 ①, ②, ③, … の上サグの長さおよび引張力を意味する。

図-7 は表-2 を図化したものである。すなわち、各吊索に 3 kg のプレテンションを導入した状態（載荷番号 No. 0）から出発して、種々の分布荷重を受けた場合（載荷番号 No. 1～No. 6）の各吊索引張力の変化の様子を示したものである。偏分布載荷（同図点線）の場合は吊索引張力に偏りが認められ、いずれも載荷点付近にピークが存在している。

さて、No. 5 は吊索 ③ 以外のすべての吊索に載荷し

図-7

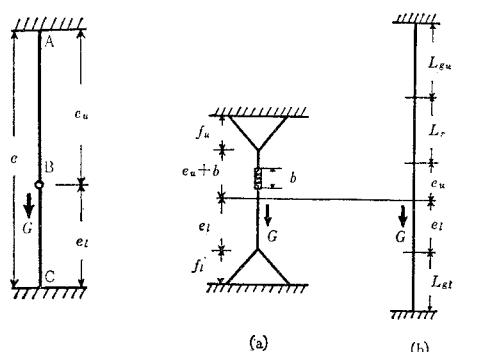


た場合である。両側の、載荷された吊索などの引張力は (3.5~3.6)kg に増大したのに対し、非載荷吊索 ③ は逆にプレテンションが減少して 2.4 kg となっている。両側載荷の影響を受けて吊索 ③ には圧縮力が働いたことを意味している。さらに吊索 ③ にも荷重を載せたものが No. 6 に相当する。これを No. 5 の場合とくらべてみると、前回の載荷吊索はすべて引張減、非載荷吊索 ③ には著しい引張増が認められる。本実験に用いたワイヤートラスは、図-6 からもわかるように、完全対称ではないし、また計測上の誤差もあって、各吊索の引張力は必ずしも一致していないが、それらの平均値を求める 3.35 kg となる。したがって、実荷重 2.8 kg を載せたことによる吊索引張力の増加はわずか 0.35 kg となり、(2.8-0.35)kg は載荷点より下のワイヤーがなんらかの作用で分担したことになる。前回同様、低減率を計算してみると 88% となりきわめて効率がよいことがわかる。なお偏荷重載荷は一部の吊索の低減率を低下させ、不経済となるから、なるべく対称載荷、等布載荷とするのがよいことはもちろんである。

## (2) 本工法の基本原理

図-8 は上下端固定の柱を示したものである。その中间点 B に載荷した場合の A, C 点が分担する荷重がそれぞれ  $e_u \cdot G/(e_u + e_l)$ ,  $e_u \cdot G/(e_u + e_l)$  となることは周知のとおりである。そして  $e_u$  が大きいほど、あるいは  $e_l$  が小さいほど A 点にかかる分担率が低減されることは

図-8



論をまたない。さて、プレテンションド ケーブル トラスも、本質的にはこのような柱に置換することができるのではないか。なぜならば、ケーブルといえどもプレテンションの範囲内の荷重に対しては、圧縮材として働き得るし、また挿入したスプリングバランスや上下索のサグなどはその伸率の関係から1本の吊索に換算できるからである（この換算長さを筆者らは等価長と名付ける）。すなわち、最も単純なプレテンションド ケーブルシステム図-9 (a) は図-9 (b) に変換されうるものと考えられる。この等価長の具体的計算法は 4. で述べる。

図-5 および図-6 に示した実験の結果として、上索にかかる荷重が非常に軽減された理由は、結局、この等価システム（すなわち柱と同義）になおして考えた場合、載荷点下の長さ（便宜上、等価下索距離と名付ける）が短く、上の長さ（便宜上、等価上索距離と名付ける）が非常に長かったためと解される。換言すれば、載荷点より下のワイヤーの柱作用やアーチ作用で分担されたと解することができる。

#### 4. 等価長と低減率の計算法

PCT に荷重を載荷した際、上・下索の受けもつ荷重は、低減率がわかれば求まるわけであるが、そのためには、3. で述べたごとく、等価上索距離、等価下索距離を求め PCT を1本の柱に置換しなければならない。そこで、本章ではスプリング バランス、上・下サグの等価長の求め方、および低減率の計算法について述べる。

いま、長さ  $a$  のある弾性体が荷重  $G$  によって  $4a$  だけ伸びたとする。また、吊索 ケーブルが同じく荷重  $G$  によって  $4a$  だけ伸びるに要する長さ（すなわち、その弾性体の等価長を意味する）を  $L$  とすれば、つぎの2式が成立する。弾性係数を  $E$ 、断面積を  $A$  とし、 $EA = \kappa$  とすれば、

$$G = \kappa \cdot 4a / a \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$G = \kappa_0 \cdot 4a / L \quad \dots \dots \dots (2)$$

便宜上、 $\kappa$  を伸び剛さと呼ぶことにすれば、 $\kappa$ 、 $\kappa_0$  はそれぞれ、ある弾性体および吊索 ケーブルの伸び剛さである。

式(1)、(2) から弾性体の等価長  $L$  を求める式は、

$$L = \kappa_0 / \kappa \cdot a \quad \dots \dots \dots (3)$$

となる。

##### (1) スプリング バランスの等価長

スプリング バランスもその伸率の関係から1本の吊索に換算することができる。いま、スプリング バランスの長さを  $b$ 、伸び剛さを  $\kappa_s$  とすれば、その等価長  $L_s$  は式(3) の  $a$ 、 $\kappa$  の代りに  $b$ 、 $\kappa_s$  を代入すればよく、

$$L_s = \kappa_0 / \kappa_s \cdot b \quad \dots \dots \dots (4)$$

で求められる。

ここに、スプリング バランスの伸び剛さ  $\kappa_s$  はつぎの

ようになる。荷重  $G$  によって長さ  $b$ 、ばね定数して  $k$  のスプリング バランスが  $4b$  伸びたとすれば

$$G = k \cdot 4b = \kappa_s \cdot \frac{4b}{b}$$

が成立する。したがって、 $\kappa_s = k \cdot b$  となる。

##### (2) 上・下サグの等価長

スプリング バランスの場合と同様、サグもまたその伸率の関係から1本の吊索に換算できる。その計算法をつぎに述べる。

##### a) 任意吊索上サグの等価長

スパン全長にわたって等分布荷重を載荷した場合、ケーブルの描く曲線は、周知のとおり放物線となる。図-10 は吊索に集中荷重が作用した場合と等分布荷重を載荷した場合の曲線の例である。吊索本数が多いとき、ケーブルは放物線を描くと考えて差し支えない。したがって、以後、プレストレス、活荷重、死荷重はスパン全長にわたって等分布すると考えることにする。

図-10

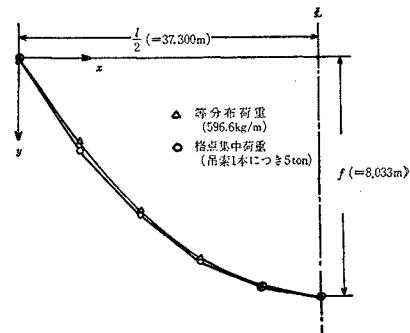


図-11

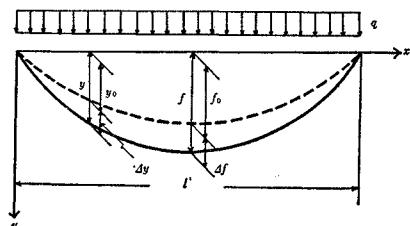


図-11 に示すように、等分布荷重  $q$  によって中央点のサグ  $f_0$  が  $4f$  だけ増加して  $f = f_0 + 4f$  に、また、任意点のサグ  $y_0$  が  $4y$  だけ増加して  $y = y_0 + 4y$  になったとする。このときケーブルの描く放物線の式は

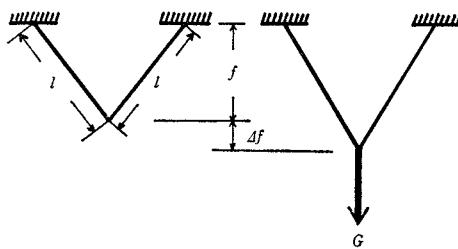
$$y = 4f_0/l^2 \cdot (l \cdot x - x^2) \quad \dots \dots \dots (5)$$

$$y = 4f/l^2 \cdot (l \cdot x - x^2) \quad \dots \dots \dots (6)$$

で表わされ、式(5)、(6)から  $(y - y_0)/y_0 = (f - f_0)/f_0$ 、したがって、 $4y/y_0 = 4f/f_0$  となり、ケーブルの任意の点で  $4y/y$  は一定となることがわかる。

つぎに、荷重とサグの変化の関係について考えてみる。図-12 に示すように、サグ  $f$  が荷重  $G$  によって、 $f + 4f$  になる場合、サグの変化  $4f$  と荷重  $G$  の関係

図-12



は、

$$\frac{(l^2 - f^2)(4f/l + f/l - G/2\kappa)^2}{(4f + f)^2} + (4f/l + f/l - G/2\kappa)^2 = 1 \quad \dots \dots \dots (7)$$

で表わされる。式(7)を用いて、それぞれ現場に即した値を代入して計算してみる。

$f=10\text{ m}$ ,  $\kappa=1.608 \times 10^7 \text{ kg}$ ,  $l=20\text{ m}, 30\text{ m}, 50\text{ m}$  の場合について  $G$  と  $4f$  の関係を求めてみると図-13 のようになる。この結果から、実用範囲内では、 $4f$  は  $G$  にほとんど比例することがわかる。等分布荷重の場合もこの関係は成立つものと考えられるから、結局、サグは長さ  $y_0$  で、かつ、荷重  $ql$  によって  $4y/y_0$  だけひずむ弾性体とみなしうる。よって、サグの伸び剛さを  $\kappa_g$  と仮定すれば、

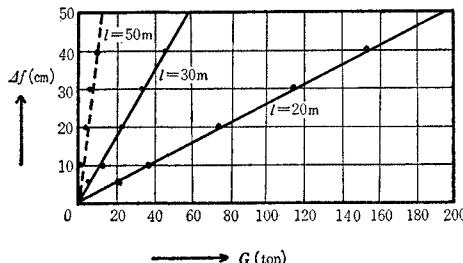
$$ql = \kappa_g \cdot 4y/y_0 = \kappa_g \cdot 4f/f_0$$

したがって、

$$\kappa_g = ql \cdot f_0 / 4f \quad \dots \dots \dots (8)$$

となる。

図-13



中央点のサグの等価長  $L_{gc}$  は式(3), (8) から

$$L_{gc} = \frac{\kappa_0}{\kappa_g} \cdot f_0 = \frac{\kappa_0 \cdot 4f}{ql} \quad \dots \dots \dots (9)$$

また、任意点のサグの等価長  $L_g$  は式(3), (5) から、

$$L_g = \frac{\kappa_0}{\kappa_g} \cdot y_0 = \frac{\kappa_0}{\kappa_g} \cdot \frac{4f_0}{l^2} \cdot (lx - x^2) \quad \dots \dots \dots (10)$$

となる。

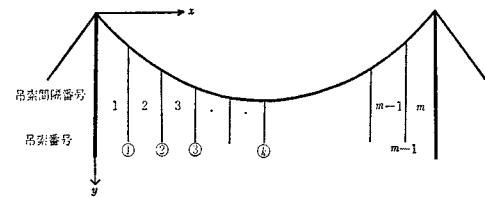
吊索間隔数を  $m$  とすれば、図-14 に示す  $k$  番目の吊索上のサグの等価長  $L_{gk}$  は、式(10)に  $x=k/m \cdot l$  を代入して、

$$L_{gk} = \frac{\kappa_0}{\kappa_g} \cdot 4f_0 \cdot \left( \frac{k}{m} - \frac{k^2}{m^2} \right)$$

さらに式(9)から、

$$L_{gk} = K_k \cdot L_{gc} \quad \dots \dots \dots (11)$$

図-14



ここに、

$$K_k = 4 \left( \frac{k}{m} - \frac{k^2}{m^2} \right) \quad \dots \dots \dots (12)$$

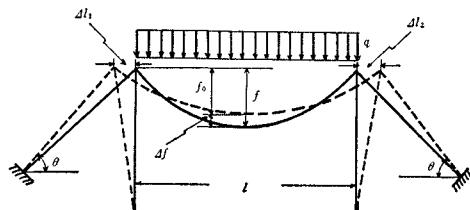
となる。

任意吊索上のサグの等価長  $L_{gk}$  は式(9)の  $4f$  の値がわかれば式(11)から求まることになる。そこで、つぎに、 $4f$  を求める式を導く。

### b) $4f$ の計算<sup>3)</sup>

図-15 に破線で示した無載荷時ケーブルの状態は、等分布荷重  $q$  が載荷されれば、門構のたおれこみ、ケーブルの伸びなどが生じ、実線で示す状態となる。本工法の場合には、バックスティ ケーブルが径間にすべり込まないよう門構頂部でケーブルを固定した。スパン  $l$  間のケーブルの長さ  $C$  はつぎのようにして求められる。

図-15



$$C = \int_0^l \sqrt{1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2} dx \quad \dots \dots \dots (13)$$

式(6)から

$$\frac{dy}{dx} = \frac{4f}{l^2} (l - 2x) \quad \dots \dots \dots (14)$$

式(14)を式(13)に代入して積分すれば、

$$C = \frac{l}{2} \sqrt{1 + 16n^2} + \frac{l}{8n} \cdot \log_e(4n + \sqrt{1 + 16n^2}) \quad \dots \dots \dots (15)$$

ここに、

$$n = f/l$$

となる。

つぎに、式(13)の  $\sqrt{1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2}$  を展開し第3項までとり、式(14)を代入して積分すれば、

$$C = l \left( 1 + \frac{8}{3}n^2 - \frac{32}{5}n^4 \right) \quad \dots \dots \dots (16)$$

となる。

式(16)から

$$4C = 4l \left( 1 - \frac{8}{3}n^2 + \frac{96}{5}n^4 \right) + 4f \left( \frac{16}{3}n - \frac{128}{5}n^3 \right) \quad \dots \dots \dots (17)$$

したがって、

$$\Delta f = \frac{15 \Delta C - (15 - 40n^2 + 288n^4)\Delta l}{80n - 384n^3} \quad \dots\dots\dots(18)$$

式(18)から、 $\Delta f$  はケーブルの伸びによるもの ( $\Delta f_c$ ) と径間の変化によるもの ( $\Delta f_l$ ) の和であることがわかる。すなわち、 $\Delta f_c$ 、 $\Delta f_l$  は、

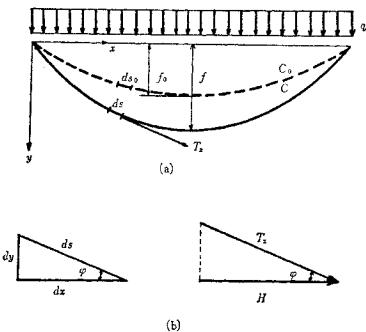
$$\Delta f_c = \frac{15}{80n - 384n^3} \Delta C \quad \dots\dots\dots(19)$$

$$\Delta f_l = \frac{15 - 40n^2 + 288n^4}{80n - 384n^3} (-\Delta l) \quad \dots\dots\dots(20)$$

となり、結局、 $\Delta f$  を求めるには、等分布荷重  $q$  によるケーブルの長さ変化  $\Delta C$  および径間の変化  $\Delta l$  を求めなければならないことがわかる。

①  $\Delta C$  の求め方：図-16(a)に示すように、無応力時のケーブル微小長さ  $ds_0$  は、張力  $T_x$  を受け  $ds$  となる。ケーブルの伸び剛さを  $\kappa_c$  とすれば、

図-16



$$ds_0 = \frac{ds}{1 + T_x/\kappa_c} \quad \dots\dots\dots(21)$$

したがって、無載荷時のケーブルの長さ  $C_0$  は

$$C_0 = \int_0^c \frac{ds}{1 + T_x/\kappa_c} \quad \dots\dots\dots(22)$$

となる。図-16(b)より

$$ds = dx \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \quad \dots\dots\dots(23)$$

$$T_x = H_x \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \quad \dots\dots\dots(24)$$

これらの式を式(23)に代入して

$$C_0 = \int_0^l \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}}{1 + H_x/\kappa_c \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}} \cdot dx \quad \dots\dots\dots(25)$$

$H_x$  は一定となり

$$H_x = ql^2/8f \quad \dots\dots\dots(26)$$

式(25)に式(14)、(26)を代入して積分すれば次式を得る。

$$C_0 = \frac{l}{\alpha} - \frac{l}{\delta \alpha^2} \left\{ \ln(\delta + \sqrt{1 + \delta^2}) - \frac{1}{\sqrt{1 - \alpha^2}} \cdot \ln \frac{\sqrt{1 + \alpha} \cdot \delta + \sqrt{1 - \alpha} \cdot (\sqrt{1 + \delta^2} - 1)}{\sqrt{1 + \alpha} \cdot \delta - \sqrt{1 - \alpha} \cdot (\sqrt{1 + \delta^2} - 1)} \right\} \quad \dots\dots\dots(27)$$

ここに、

$$\alpha = ql^2/8f \kappa_c, \quad \delta = 4f/l$$

式(15)から  $C$ 、式(27)から  $C_0$  を求めれば  $C - C_0$ 、すなわち  $\Delta C$  が求まる。

一方、式(22)を展開し、 $\left(\frac{T_x}{\kappa_c}\right)^2$  の項以下を省略すれば、

$$ds_0 = ds \left( 1 - \frac{T_x}{\kappa_c} \right) \quad \dots\dots\dots(28)$$

したがって、

$$C_0 = \int_0^c \left( 1 - \frac{T_x}{\kappa_c} \right) ds$$

$$\Delta C = C - C_0 = \int_0^c \frac{T_x}{\kappa_c} \cdot ds$$

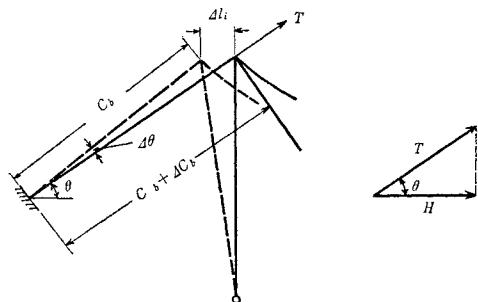
となる。上式に式(14)、(23)、(24)、(26)を代入し積分すれば、

$$\Delta C = \frac{ql^3}{8f \kappa_c} \cdot \left( 1 + \frac{16}{3} n^2 \right) \quad \dots\dots\dots(29)$$

が得られ  $\Delta C$  の簡略式を得る。

②  $\Delta l$  の求め方：図-17に示すように、荷重により門構がたおれこむと、スパンは  $\Delta l_i$  だけ小さくなる。この時、力のつり合い、およびケーブルの伸びの関係から次式を得る。

図-17



$$T = H_x \cdot \sec(\theta - \Delta\theta) \quad \dots\dots\dots(30)$$

$$C_b \left( 1 + \frac{T_x}{\kappa_c} \right) - C_b = -\Delta l_i \cos(\theta - \Delta\theta) \quad \dots\dots\dots(31)$$

ここで、 $\Delta\theta$  の値は微小であるから、これを省略して考えれば、式(30)、(31)から  $\Delta l_i$  は

$$\Delta l_i = -\frac{H}{\kappa} \cdot \sec^2 \beta \cdot C_b \quad \dots\dots\dots(32)$$

となる。PCT が対称形の場合は、式(32)で求めた値を 2 倍すればスパンの全変化  $\Delta l$  が求まるが、非対称の場合には、右岸、左岸それぞれのバックステイケーブルについて、 $\Delta l_i$  を求めその和を  $\Delta l$  としなければならない。

すなわち、

$$\Delta l = \sum \Delta l_i \quad \dots\dots\dots(33)$$

以上の結果をまとめ、任意吊索上のサグの等価長を求める順序を簡単に示せば、つぎのとおりである。

① まず  $\Delta C$  を求める。厳密式による場合、式(15)、

(27) を、簡略式による場合、式(29)を用いる。

⑪  $A l$  を式(32), (33)から求める。

⑫  $A C$ ,  $A l$  の値を式(19), (20)に代入し  $A f$  を求める。

⑯  $A f$  の値を式(9)に代入し  $L_{gc}$  を求める。

⑰  $L_{gc}$  を式(11)に代入すれば  $L_{gk}$  が求まる。

(3) 等価システムと低減率

もし、PCT の各吊索において低減率が異なる場合、たとえば、中央部の低減率が小さく、端部に近づくにつれて大きくなる場合を考えてみる。この場合、上索の受けの荷重強度は、中央部で大きく、端部で小さく、図-18(a)に示すような荷重分布となる。この分布荷重によるサグの変化は、当然、中央部が大きく、端部に近づくにつれて小さくなる。その結果、中央の低減率が大きく、端部の低減率は小さくなる。したがって、こんどは端部の荷重強度が大きく、中央の荷重強度が小さくなり図-18(b)に示す荷重分布となる。よって端部のサグの変化が大きく、中央部の変化が小さくなり、低減率は端部が大きく、中央部が小さい最初の仮定と同じ状態になる。これがくり返され、結局、最後は低減率がスパン全長にわたってほぼ一定となり、PCT は安定するものと考えられるわけであるが、現象的には、荷重を載荷すればただちに PCT は安定し、そのとき、低減率はスパン全長にわたって一定になるわけである。筆者らは、ここにいう一定なる低減率は各吊索の低減率の平均値にはほぼ近づくものと考えて、以下その計算を行なう。図-19(a)に示した PCT は、(1), (2) で導いた式を用いて、スプリング バランス、上・下サグの等価長を求めれば、同図(b)に示す一本の柱に置換えられる。したがって、低減率  $\beta$  は、

$$\beta = \frac{L_u}{L_u + L_t} \times 100 \quad \dots\dots\dots(34)$$

図-18

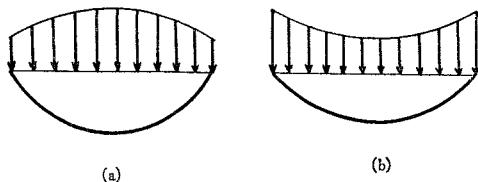
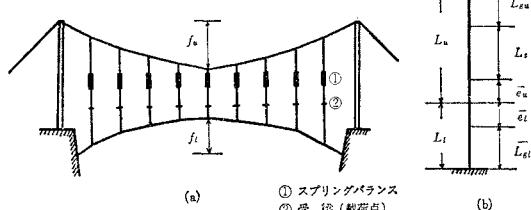


図-19



ここに、

$$L_u = \overline{L_{gu}} + L_s - \bar{e}_u$$

$$L_t = \overline{L_{gl}} + \bar{e}_l$$

またサグの等価長の平均値  $\overline{L_g}$  はつぎのようにして簡単に求められる。

$$\overline{L_g} = \frac{1}{m-1} (L_{g1} + L_{g2} + \dots + L_{g(m-1)})$$

式(11)を代入すれば

$$\overline{L_g} = \frac{L_{gc}}{m-1} (K_1 + K_2 + \dots + K_{m-1})$$

さらに式(13)を代入し整理すれば

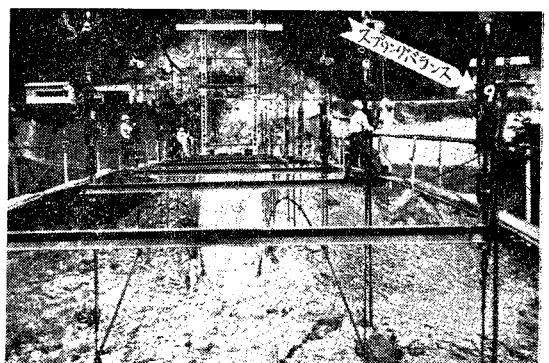
$$\overline{L_g} = \frac{2(m+1)}{3m} \cdot L_{gc} \dots\dots\dots(35)$$

となり  $\overline{L_g}$  が求まる。

### 5. 実橋試験結果と理論計算との比較

第1回実橋試験を昭和39年9月宮崎県五ヶ瀬川上流、城橋において、第2回を昭和41年8月宮崎県耳川中流、小原橋において実施した。試験方法は 3. に述べた室内試験と同様、スプリング バランス(写真-3)を用いて吊索張力を測定し低減率を求めることを主目的とし、さらに安全点検、風荷重に対する安定性、作業速度、経済性などについても調べた。

写真-3 プレテンション作業



本章では、与えられた PCT の形状、寸法(設計の際はこれらを仮定して低減率を計算する)から低減率を計算し実橋試験結果と比較した。その他の諸結果については 6. で検討する。なお、これらの試験はいずれもパーシャル プレストレス方式で行なったため、最終段階では従来のケーブル エレクション工法となった。パーシャル プレストレス方式とは実荷重の一部が載った時にプレストレスがなくなる方式で、それ以上の荷重に対しては載荷点下のケーブルが柱作用やアーチ作用を當まなくなる。

#### (1) PCT の形状、寸法およびその他の諸値

PCT の形状を 図-20 に、その寸法、その他諸値を表-3 に示す。

図-20

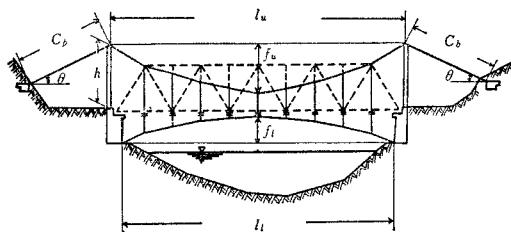


表-3

諸 値		橋 名		城 橋	小原 橋
プレ ス ト レ ス		$P(\text{kg})$		4 000	2 000
ス バ リ ン ス グ	長 さ ば ね 定 伸 び 剛 さ	$b(\text{m})$		1.800	
	数 $k(\text{kg/m})$			$5.078 \times 10^4$	
	剛 さ $\kappa_s(\text{kg})$			$9.140 \times 10^4$	
主 索	上 ス パ ン る等分布荷重 プレストレスによく	$l_u(\text{m})$	76.000	74.600	
		$q_u(\text{kg/m})$	526.97	595.58	
	中 央 点 サ グ	$f_u(\text{m})$	8.000	8.033	
	彈 性 係 数 $E_c(\text{kg/cm}^2)$		80.00 $\times 10^4$		
索 索	断 面 積 $A_c(\text{cm}^2)$		10.05 $\times 2 = 20.10$		
	伸 び 剛 さ パックスティ長さ $C_b(\text{m})$		$1.608 \times 10^7$		
	パックスティ角度 $\cos \theta$		1.155	1.166	
	下 ス パ ン る等分布荷重 プレストレスによく	$l_l(\text{m})$	70.010	70.460	
吊 索		$q_l(\text{kg/m})$	514.21	255.46	
	中 央 点 サ グ	$f_l(\text{m})$	8.000	4.500	
	伸 び 剛 さ	$\kappa_l(\text{kg})$		$1.608 \times 10^7$	
	載荷点上吊索平均長 載荷点下吊索平均長	$\bar{e}_u(\text{m})$	4.310	3.400	
吊 索	弾 性 係 数 $E_o(\text{kg/cm}^2)$	$\bar{e}_l(\text{m})$	4.245	2.100	
				80.00 $\times 10^4$	
	断 面 積 $A_o(\text{cm}^2)$			1.940	
	伸 び 剛 さ $\kappa_o(\text{kg})$			$1.552 \times 10^6$	

## (2) 等価長の計算

## a) スプリング バランスマの等価長

式(4)に表-3の値を代入し、 $L_s=30.6\text{ m}$ を得る。

## b) 上・下サグの平均等価長

上・下サグの平均等価長の計算を表-4に示した。この結果から、城橋、小原橋のPCTは図-21の等価システムにそれぞれ置換される。したがって、城橋では、①の場合73%、②の場合79%、小原橋では、①の場合

表-4

橋 名	*	$4f_c$ (cm)	$4f_l$ (cm)	$4f$ (cm)	$L_{gc}$ (m)	$L_g$ (m)
計算に使う式	①	⑯	⑰	⑲	⑩	⑪
	②	⑯	⑰	⑲	⑩	⑪
城 橋	上 サ グ	① ②	46.6 45.0	20.2 20.2	66.8 65.2	25.8 25.2
	下 サ グ	① ②	50.1 32.1	— —	50.1 32.1	21.6 13.8
小 原 橋	上 サ グ	① ②	37.5 23.3	31.0 31.0	68.5 54.3	48.2 38.2
	下 サ グ	① ②	118.5 66.5	— —	118.5 66.5	102.2 57.3
						35.3 28.0
						74.9 42.0

\* 4C を求めるさい、①では厳密式を、②では簡略式を用いた

図-21

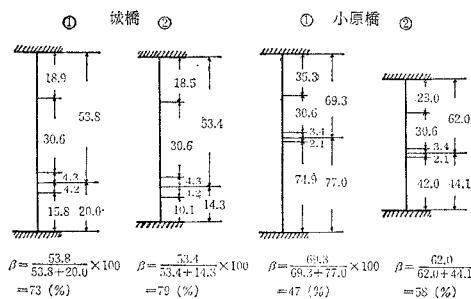


表-5

橋 名	城 橋 プレストレス $P=4 000 \text{ kg}$ 載荷荷重 $G=2 160 \text{ kg}$	小 原 橋 プレストレス $P=2 000 \text{ kg}$ 載荷荷重 $G=1 650 \text{ kg}$
上 流 側 PCT		
下 流 側 PCT		

表-6

低 減 率	橋 名	城 橋	小 原 橋
計 算 値	① ②	73% 79	47% 58
実 測 値	上 流 側 下 流 側	73 75	52 55

47%, ②の場合 58% となり  $4C$  を厳密解から求めた場合と簡略式から求めた場合とでは約 10% の差がある。

## c) 実橋試験結果と計算値の比較

実橋試験結果(スプリング バランスマの読み)を表-5に、また、その結果から求めた低減率を計算値とともに表-6に示した。なお、実測値からは次式を用いて低減率を計算した。

$$\beta = \frac{\text{プレストレス量} + \text{荷重} - \text{スプリング バランスマの読み}}{\text{荷重}} \times 100 \quad \dots \quad (36)$$

この結果から計算値と実験値がかなりよく一致していることがわかる。簡略式を用いる場合低減率は約 5% 実験値より大きくなっているが、ケーブルには安全率 3 がとっていること、また、PCT が橋梁架設のための短期構造物であることなどを考え合せれば、5% 程度の誤差は許容し得るから、低減率の計算には簡略式を用いて差し支えないと考えられる。

## 6. その他の考察

### (1) スプリングバランス、サグサグ比の問題

吊索中にスプリングバランスを検討したのは、本来、プレテンション導入量ならびに載荷後の引張力を測定するためであったが、はからずも、これが低減率 $\beta$ に大きく寄与していることは前述したとおりである。

この低減率を増大させるためには、等価上索距離をなるべく大きくし、逆に、等価下索距離を短くする必要がある。したがって、スプリングバランスには等価長のなるべく大きいものを選び、下索には伸び剛さ $\kappa$ の大きいケーブルを用い、かつそのサグができるだけ大きくした方がよいことがわかる。

さて、上索のサグに対する下索のサグの比をサグサグ比と名付けると、これが大きいほど望ましい理屈となるが、ここに注意しなければならないことは、上索のサグをあまり小さくすると上索の引張力が著しく大きくなり、また、橋下空間にあまり余裕がないときには、下索のサグを十分にとれない場合も起こり得ることである。

5.において、実橋への適用例をして示した二例中、小原橋がこれに相当し（ダム水面上にあり、けた下高が低いため下サグが十分とれなかった）、したがって、低減率は53%にすぎなかった。これとは反対に、深い渓谷などで本工法が採用されれば、下索のサグが十分とれるから低減率は増大し、工事の安全性に加え、いっそう経済的になろう。なお、この場合、もし流水量が少なければ、下索を省いて、各吊索を直接真下の岩盤に定着することも可能である。

さて、伸び剛さ $\kappa$ の小さいスプリングバランスを用いるほど、低減率が増大し有利となることは、実験、理論の両面から証明されたことであるが、 $\kappa$ 値があまり小さいと実橋部材の載荷にともなうPCTの変位量が大きくなるから、その対策を施さねばならない。城橋の場合、PCT構成後、床組架設完了までに約30tの荷重が載荷されたが、この時、上索中央点サグは上・下流側ともに約21cm増加した。そこで、筆者らは図-2に示すごとくキャンバー材を敷いて調整を行なったが、さらに変位量が増す場合には、たとえば、受ぱりを吊索に取付ける部分にアジャストボルトルを挿入しておいて調整する方式を併用するのも一策であろう。

### (2) 上索アンカーの問題

上索端はアンカー ブロックに定着する。ブロックコンクリートは、一般に地下深く打設するが、滑動、浮上りなどに対する検討を十分に行なうべきであることはいうまでもない。一方、アンカー造成費は、総工事費の中でかなり高い比率を占めるので、この面からの改善も必要で、たとえば、ブロック背面の土圧がかからないようにするとか、岩盤と摩擦を有効に利用するため、ブロッ

ク底面を傾斜させたり、切欠状にするとかの工夫も必要であろう。また、すべてを重力式でカバーするやり方を改めて、岩盤へ、何らかの方法でアンカーする方式へも研究を進めるべきであろう。地盤は種々の欠陥を含んでいる場合が多いので、十分慎重な施工が望まれることはもちろんあるが、さらに進んで地盤改良についても研究がなされることが望ましい。

岩盤にせん孔し、アンカー用異形鉄筋を挿入してグラウトするような場合、鉄筋の埋込長をいたずらに長くする愚は避けるべきである。何となれば、ボンド応力は鉄筋に沿って等布するのではなく、そのピーク位置は大体決まっているから、有効付着長以上の埋込みは無意味で、それよりもむしろ、ピーク付近の、孔周辺の強化こそ重要であると考えられる。

### (3) 下索アンカーの問題

本工法では、下索端を橋脚に定着し、プレストレスを導入するので、その水平成分が橋脚に力をおよぼす。したがって、橋脚の滑動、転倒に対する安定性を十分に確かめなければならない。多スパンの場合には橋脚の両側からのが相殺されるから、橋脚安定上の問題は解消する。なお、力の垂直成分はタワーに軸力を与えるのみである。

本工法を採用する場合には、橋梁の下部工事発注時に、すでに上部工架設計画が取り入れられ、下部工コンクリート打設時にアンカー金物が埋込まれることが必要である。施主のご協力を得たい。

### (4) 風荷重に対する問題

2. 述べたごとく、従来のケーブルエレクション工法は、風荷重に対して危険性が高い。PCT工法ではこの点全く安全で、現に、小原橋ではその架設時に台風に見舞われ、30~35m/secの突風が吹き荒れたが、なんら災害は生じなかった。

さてここでは風荷重による吊索張力の増加を計算して安全性を確かめてみる。

#### a) 風荷重による増加張力( $\Delta P$ )を求める式

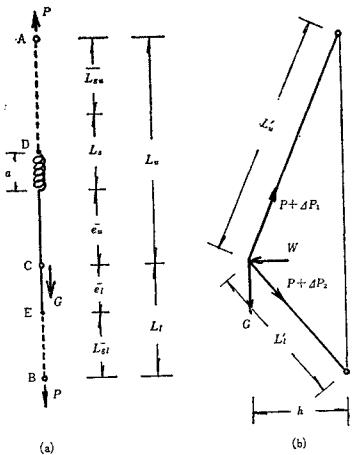
4.(3)において述べたように、PCTは図-22(a)に示す1本の柱 $\overline{AB}$ に置換えられる。本来、風荷重はそのうちの $\overline{DE}$ 間に等分布するものと考えるべきであるが、 $\overline{DE}$ の長さは $\overline{AB}$ の約1/5にすぎない。したがって、ここでは風荷重はこの柱の載荷点 $C$ に集中荷重 $W$ として作用するものと考える。また、 $W$ の作用点は鉛直方向には変位しないものと仮定する。図-22(b)において、 $AC$ 間の張力は $P+(1-\beta)G$ 、 $BC$ 間の張力は $P-\beta G$ であるから

$$L_u' = L_u \left\{ 1 + \frac{\Delta P_1}{\kappa + P + (1-\beta)G} \right\} \quad \dots \dots \dots (37)$$

$$L_l' = L_l \left\{ 1 + \frac{\Delta P_2}{\kappa + P - \beta G} \right\} \quad \dots \dots \dots (38)$$

また、

図-22



$$h = \sqrt{L_u'^2 - L_u^2} \\ = L_u \sqrt{\frac{\Delta P_1}{\kappa + P + (1-\beta)G} \left( 2 + \frac{\Delta P_1}{\kappa + P + (1-\beta)G} \right)} \quad \dots \dots \dots (39)$$

$$h = \sqrt{L_t'^2 - L_t^2} \\ = L_t \sqrt{\frac{\Delta P_2}{\kappa + P - \beta G} \left( 2 + \frac{\Delta P_2}{\kappa + P - \beta G} \right)} \quad \dots \dots \dots (40)$$

力のつり合いから

$$(P + \Delta P_1) \cdot \frac{L_u}{L_u'} = (P + \Delta P_2) \cdot \frac{L_t}{L_t'} + G \quad \dots \dots \dots (41)$$

$$(P + \Delta P_1) \cdot \frac{h}{L_u'} + (P + \Delta P_2) \cdot \frac{h}{L_t'} = W \quad \dots \dots \dots (42)$$

式(41), (42)に式(37), (38), (39), (40)を代入し整理すれば、

$$\Delta P_1 = \left\{ 1 + \frac{\Delta P_1}{\kappa + P + (1-\beta)G} \right\} \\ \times \left[ \frac{(1-\beta)W}{\sqrt{\frac{\Delta P_1}{\kappa + P + (1-\beta)G} \left( 2 + \frac{\Delta P_1}{\kappa + P + (1-\beta)G} \right)}} \right. \\ \left. + \beta G \right] - P \quad \dots \dots \dots (43)$$

$$\Delta P_2 = \left( 1 + \frac{\Delta P_2}{\kappa + P - \beta G} \right) \\ \times \left[ \frac{\beta W}{\sqrt{\frac{\Delta P_2}{\kappa + P - \beta G} \left( 2 + \frac{\Delta P_2}{\kappa + P - \beta G} \right)}} \right. \\ \left. - (1-\beta)G \right] - P \quad \dots \dots \dots (44)$$

のように得られ、 $\Delta P_1$ ,  $\Delta P_2$ は試算法によって求められる。

### b) 数値計算（城橋の場合）

橋本体ができ上れば、風荷重は本体によって受持たれるから問題はない。そこで、架設中の最も危険な場合について数値計算を行なう。このとき諸値は、

$W = 420 \text{ kg}$  (風速 55 m, したがって風圧 300  $\text{kg}/\text{m}^2$  の場合について考えた)

$$P = 4000 \text{ kg}, G = 1500 \text{ kg}, \beta = 0.73$$

$$\kappa = 1.552 \times 10^6 \text{ kg}$$
 (ただし、 $W$ ,  $P$ ,  $G$  は  
吊索 1 本にかかる値)

である。これらを式(43), (44)に代入して  $\Delta P_1$ ,  $\Delta P_2$  を求めれば  $\Delta P_1 = 750 \text{ kg}$ ,  $\Delta P_2 = 1860 \text{ kg}$  となる。

したがって、吊索の張力は

$$\text{AC 間;} P + (1-\beta)G + \Delta P_1 \\ = 4000 + 0.27 \times 1500 + 750 = 5155 \text{ kg}$$

$$\text{BC 間;} P - \beta G + \Delta P_2 \\ = 4000 - 0.73 \times 1500 + 1860 = 4765 \text{ kg}$$

となり、AC 間プレストレスの約 1.3 倍、BC 間は 1.2 倍である。

### (5) 作業速度と経費の問題

図-23 は城橋の場合の架設進行度を示したものである。これによると在来工法による約 10 日間の架設工事を 1 週間に短縮していることがわかる。在来工法では、風雨の強い日には作業を中止せねばならぬが、新工法によればその必要がないので、作業は計画どおり順調に進められた。ただし、本橋の工事において、架設着手前に約 1 カ月の準備期間を要したうち 2 日間は、特に、PCT 構成に要したので、この点、在来工法より余分の日数をかけたことになる。実施した 2 例は、何分にも新工法の適用であるという立場から、特に慎重を期し、ともにフルプレストレス方式（実荷重が全部載った時にプレストレスが消滅する方式）ではなく、5. で述べたようにペーシャル プレストレス方式を探ったが、前者にすれば、作業速度はさらに向上し経済性も高まるものと考えられる。図-23 の点線は、城橋の場合に前者の方式を探っていたならば、という想定であり、架設日数は半減することを示している。

図-23

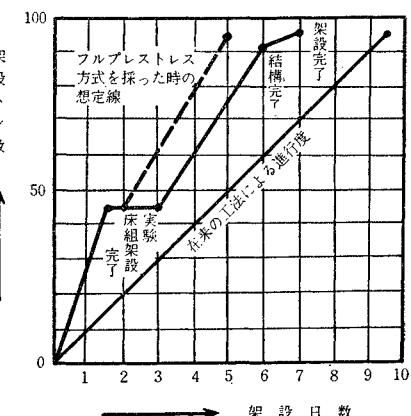


表-7 は、新工法と在来工法を経費の面で比較したものである。新工法では、下索、計器類そしてアンカー金物などが、在来工法の場合より余分に要るので、そのための経済的負担が増加するが、とび工を 10% 減少できる

こと、とび工のうち 50% を現地人夫に替えられることなど、人件費の節減が果たせるので、総計ではわずかではあるが新工法の方が安くなることを示している。

## 7. 結 言

以上述べたように、本工法は在来の宙吊り作業を全く安全なる地上作業に転換させ、しかも十分なる事前の安全点検の上に作業が進められるので、作業員の心理的負担はきわめて軽減される。したがって、従来のごとく特に熟練した現場作業員を要せず、かなり未熟練者(現地人夫)に切換えることができた。また、PCT 構成のためのプレストレス導入作業中に、強度不足部材を発見したので、たちちにプレストレスを解放して部材補強を行なうことができたこと、

2 例とも全く無災害であったことなども報告する。PCT はプレストレスが導入された不安定トラスであるから、これを厳密に解析することは至難であるが、プレストレスコンクリートの基礎原理よりヒントを得て、載荷点下のケーブルの柱作用、アーチ作用を骨子にして組立てた筆者らの実用解が正しいことが、室内実験、現場試験の結果明らかとなった。つぎに、新工法では下索および付帯する計器類などが在来工法の場合より余分に要るので、そのための経済的負担は増加するが、工事経費の内容を分解して、総合的にまとめてみると、むしろ在来工法の場合より有利となることがわかった。ここに実施した 2 例では、ともに、フルプレストレス方式ではなく、パーシャルプレストレス方式を採ったため、新工法の真価を最後まで發揮できなかったが、前者の方式を採れば、いっそう迅速性、経済性が高まるはずである。また、小原橋架設中、風速 30~35 m/sec の台風に遭遇したが、なんらの被害もなかったことからもわかるように、新工法の風荷重に対する安定性は格段に高いことが実証され、この面から、風波の強い海上架設工事や深い渓谷架設工事などにも好適で、今後、橋梁の長大化がすすめばすむほどその真価を發揮するものと考えられる。近年、長大橋にカンチレバー エレクション工法が広く用いられており、この方法で、橋脚上の負モーメ

表-7 在来工法との経済比較

経費項目	全工費に対する割合	新工法により増減すべき項目とその割合	増減割合
人件費 内訳 とび工 (60%) 鉄工 (30%) 人夫 (10%)	30%	① とび工を 10% 減少できる (実績より) $0.3 \times 0.6 \times 0.1 = 0.018$ ② とび工のうち 50% を現地人夫に替えられる (ただし運賃等も考慮して 60% とする) $0.3 \times 0.6 \times 0.9 \times 0.4 = 0.065$	-0.018 -0.065
アンカ造成費 内訳 掘削等 (30%) コンクリート (60%) 金物等 (10%)	15%	アンカ金物等が在来工法に比し 2 倍必要である $0.15 \times 0.1 \times 1 = 0.015$	+0.015
機械損料 内訳 タワー等 (20%) ワインチ等 (30%) ワイヤー等 (50%)	15%	① ウインチ類(計器類を含む)が 50% 増す $0.15 \times 0.3 \times 0.5 = 0.0225$ ② ワイヤー類が 20% 増す $0.15 \times 0.5 \times 0.2 = 0.015$	+0.0225 +0.015
副資材ならびに運賃 内訳 副資材 (20%) 運賃 (80%)	20%	① 副資材が 10% 増す $0.2 \times 0.2 \times 0.1 = 0.004$ ② 運賃が 10% 増す $0.2 \times 0.8 \times 0.1 = 0.016$	+0.004 +0.016
直接経費の計	80%	経費増: 0.073 経費減: 0.083	-0.01
間接経費	20%	一応増減なしと認める	0
総計	100%	新工法の方が若干ではあるが安くなる	-0.01

ントが過大になり不経済を招くことについてよく論議されるが、PCT 工法によればこの点全く改善されるので九工大渡辺研究室では現在これについての検討をすすめる一方、PCT を単に架設のための構造物にとどめず、P C プレキャスト部材と組み合わせて実橋とする研究も進めている。

浅学なる筆者らの本研究に対して、広く各位のご批判を仰ぐ次第である。

謝辞: 本研究にあたり、九州大学 水野高明教授に種々ご指導を賜りました。また、清永定光君(八幡製鉄)、新宅隆志君(住宅公団)、松本 進君(九州工大大学院)らに卒論として取り上げて頂きました。ご協力を得ました。

なお、本工法の実施にあたっては、宮崎県林務部、宮崎県延岡労働基準監督署、その他の方面より格別のご協力を頂きました。付記して深く謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 水野・大神・渡辺・出光: 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、土木学会西部支部研究発表会講演概要集、昭和 40 年 1 月。
- 2) 水野・渡辺・出光・大神: プレテンションド ケーブルトラス構成による橋梁架設新工法に関する実験と実施報告、土木学会第 20 回年次学術講演会講演概要集、昭和 40 年 5 月。
- 3) 吉町太郎一: 鋼橋の理論と計算、吉町博士著書刊行委員会。

(1967.8.28・受付)