

九州工業大学 正員 渡辺 明
 同 正員 ○出光 隆
 同 学生員 豊福俊泰

1. まえがき

(123)

PC T工法が耐風安定性に優れていることはすでに報告した。しかしながら、現在PC Tの設計の際、理論的に風荷重を考慮して各索の断面決定を行なうまでには至っておらず、そのためには風荷重による吊索張力の増加量が計算できなければならない。

そこで、筆者らは理論、実験の両面から検討を重ね、風荷重を静的に取扱って吊索張力の増加量を求める式を提案し、また、実験結果と計算値との比較も行なってみた。

2. 計算法の概要

図-1に示すように、PC Tは各部ののび率^りの関係から1本の柱に置き換えることができる。PC Tは風荷重を受ければ、図-2に示すように変形する。(a)はプレストレス(P)を導入したPC Tを構成した場合、(b)は載荷点Cに荷重(G)を載荷した場合、(c)は風荷重(W)が作用した場合である。これらの場合、AC間、BC間の張力はそれぞれ図に示したようになる。ここに、 ΔP_u 、 ΔP_L はそれぞれAC間、BC間の張力増加量であり、 β は低減率と呼ばれる荷重Gが載荷されたとき下索が分担する率である。

ΔP_u 、 ΔP_L が求まれば、風荷重が作用した場合の主索にかかる等分布荷重は、

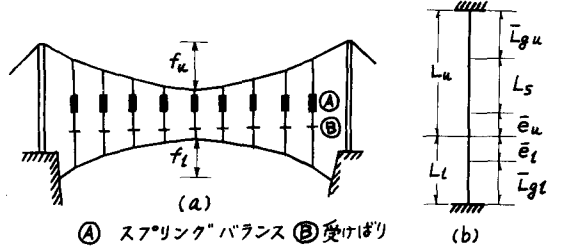
$$\text{上索に対して } q_u' = n\{P + (1-\beta)G + \Delta P_u\}/l$$

$$\text{下索に対して } q_L' = n\{P + \beta G + \Delta P_L\}/l$$

となる。ここに、 n はPC Tの吊索本数^りである。すなわち、風荷重の作用により、スパン全長にわたる等分布荷重が上、下索それぞれに $n\Delta P_u/l$ 、 $n\Delta P_L/l$ だけ増加することになる。これに応じた主索張力の増加量は簡単に求めることができる。

3. 合成のび剛さの計算法

ΔP_u 、 ΔP_L を計算するにはスプリングバランス、上・下サグの影響を考慮しなければならない。上・下サグ、スプリング、吊索等はいずれも異なった弾性係数(E)、断面積(A)、長さ(L)をもった弾性体と見られる。(サグは荷重に対する変位の関係から弾性体とみなし得る)しかし、 $EA = \text{比さのび剛さ}$



(A) スプリング バランス (B) 受けばり

図-1

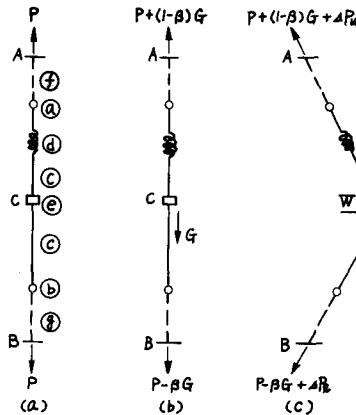


図-2

- ① 主索
- ② 下索
- ③ 吊索
- ④ スプリング バランス
- ⑤ 載荷点(受けばり)
- ⑥ 上サグ
- ⑦ 下サグ

と呼ぶことにし、合成のび剛さという考えを導入すれば、A C, B C間をそれぞれ一つの弾性体とみなすことができる。いま、荷重Gによって長さ l_s , バネ定数K, のび剛さ κ_s のスプリングバランスが Δl_s のびたとすれば,

$$G = K \cdot \Delta l_s = \kappa_s \cdot \Delta l_s / l_s$$

が成立つ。したがって,

$$\kappa_s = K \cdot l_s \quad (1)$$

となる。

バネ定数が異なる弾性体を幾個直列に連結したとき, その合成バネ定数Kは次式で表わされることは周知のとおりである。

$$1/K = 1/K_1 + 1/K_2 + \dots + 1/K_n \quad (2)$$

したがって, 図-3に示したP C Tの場合, A C間の合成のび

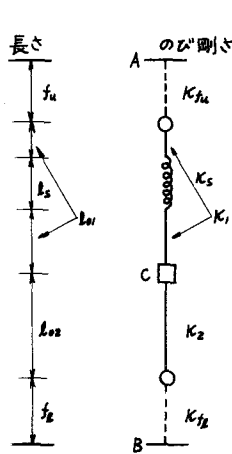


図-3

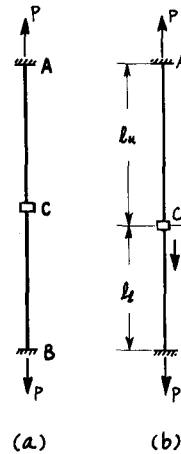
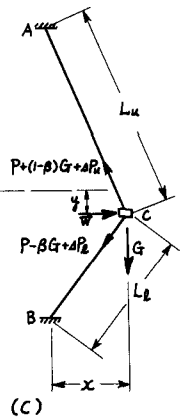


図-4



剛さ κ_u , B C間の合成のび剛さ κ_k は(1), (2)式から次のように表わされる。

$$\kappa_u = \frac{l_u + l_s + l_{o1}}{\frac{l_u}{\kappa_u} + \frac{l_s}{\kappa_s} + \frac{l_{o1}}{\kappa_1}} \quad (3)$$

$$\kappa_k = \frac{l_k + l_{o2}}{\frac{l_k}{\kappa_k} + \frac{l_{o2}}{\kappa_2}} \quad (4)$$

4. ΔP_u , ΔP_k の計算法

図-4において, 無応力時のA C, B C間の長さをそれぞれ l_{ou} , l_{ok} とすると, 次の関係がなりたつ。

$$l_u = l_{ou} [1 + \{P + (1 - \beta)G\} / \kappa_u] \quad (5) \quad l_k = l_{ok} [1 + (P - \beta G) / \kappa_k] \quad (6)$$

$$L_u = l_{ou} [1 + \{P + (1 - \beta)G + \Delta P_u\} / \kappa_u] = l_u + l_{ou} \cdot \Delta P_u / \kappa_u \quad (7)$$

$$L_k = l_{ok} [1 + (P - \beta G + \Delta P_k) / \kappa_k] = l_k + l_{ok} \cdot \Delta P_k / \kappa_k \quad (8)$$

$$L_u^2 = (l_u + y)^2 + x^2 \quad (9) \quad L_k^2 = (l_k - y)^2 + x^2 \quad (10)$$

また, 鉛直方向の力のつり合いから

$$\{P + (1 - \beta)G + \Delta P_u\} \cdot (l_u + y) / L_u - (P - \beta G + \Delta P_k) \cdot (l_k - y) / L_k = G \quad (11)$$

水平方向の力のつり合いから

$$\{P + (1 - \beta)G + \Delta P_u\} \cdot x / L_u + (P - \beta G + \Delta P_k) \cdot x / L_k = W \quad (12)$$

となる。以上の式から

$$\kappa_u \left(\frac{1}{l_{ou}} - \frac{1}{L_u} \right) \frac{(l_u + l_k)^2 + (L_u^2 - L_k^2)}{2(l_u + l_k)} - \kappa_k \left(\frac{1}{l_{ok}} - \frac{1}{L_k} \right) \frac{(l_u + l_k)^2 - (L_u^2 - L_k^2)}{2(l_u + l_k)} = G \quad (13)$$

$$\left\{ \kappa_u \left(\frac{1}{l_{ou}} - \frac{1}{L_u} \right) + \kappa_k \left(\frac{1}{l_{ok}} - \frac{1}{L_k} \right) \right\} \sqrt{L_u^2 - \left\{ \frac{(l_u + l_k)^2 + (L_u^2 - L_k^2)}{2(l_u + l_k)} \right\}^2} = W \quad (14)$$

がなりたつ。したがって, 式(13), (14)を同時に満足する L_u , L_k を試算法によって求めれば, 次式から ΔP_u , ΔP_k が計算できる。

$$\Delta P_u = (L_u - l_u) \kappa_u / l_{ou} \quad (15) \quad \Delta P_k = (L_k - l_k) \kappa_k / l_{ok} \quad (16)$$

しかしながら, 計算の結果から, また実験の結果からも $\Delta P_u \approx \Delta P_k$ となることがわかったので, $\Delta P_u =$

$\Delta P_k = \Delta P$ として次記する簡略式を導た。

式(11), (12)から

$$\frac{(l_u + l_e) \{ P + (1 - \beta) G + \Delta P_u \} - L_u G}{L_u (l_e - \gamma)} \chi = W \quad (17)$$

式(17), (9), (10), (17)から $\Delta P_u = \Delta P_k = \Delta P$ のとき次式をえる。

$$\frac{\frac{CD(C - \gamma u + \Delta P)}{l_u(C + \Delta P)} - G}{2l_e D - 2E \Delta P - AB \Delta P^2} \cdot \sqrt{A \Delta P (2D + A \Delta P) (2l_u + B \Delta P) (2l_e - B \Delta P)} = W \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \text{ここに, } A &= l_{ou}/\gamma u + l_{oe}/\gamma e & B &= l_{ou}/\gamma u - l_{oe}/\gamma e & C &= \gamma u + P + (1 - \beta) G \\ D &= l_u + l_e & E &= l_{ou} l_u / \gamma u - l_{oe} l_e / \gamma e \end{aligned}$$

式(18)において, A ~ E の値はある PCT について一定であるから, ΔP を求めるためにはこれらの値を用いて試算を行なえば簡単に求まる。

5. 実験, 実験結果および計算値との比較

模型実験には, 室内で手軽に行なえるように, ケーブルの代りにマンガニン線を用いる方法²⁾を用いた。この実験法では, マンガニン線はケーブルの役目と同時にストレインゲージの役割をする。

(1) PCT を 1 本の柱に直した場合

PCT は 1 本の柱に置き換えられるから, 図-5 に示すようにスプリングバランスを挿入した 1 本の線について実験を行なう。AB にアレストレスを導入した後, C 点に G を載荷し, W を変化させて AC, BC 間の張力 T_1, T_2 を測定する。なお, P, G, W の値は域橋架設(昭和 38 年, 宮崎県)の際のアレストレス量, 荷重, 風荷重の比に合わせて仮定した。諸値は, スプリングバランスの長さ $l_s = 9.0 \text{ cm}$, DC 間の長さ $l_{o1} = 91.8 \text{ cm}$, BC 間の長さ $l_{o2} = 101.0 \text{ cm}$, スプリングのひび剛さ $\gamma_s = 1.786 \times 10^3 \text{ g}$, マンガニン線のひび剛さ $1.011 \times 10^5 \text{ g}$ である。実験結果から ΔP と W の関係を求め, 計算結果とともに図-6 に示す。表-1 は図-6 の $W = 8.4 \text{ g}$ に相当するものである。その場合の実測値と計算値を比較すれば, 表-2 のようになる。な

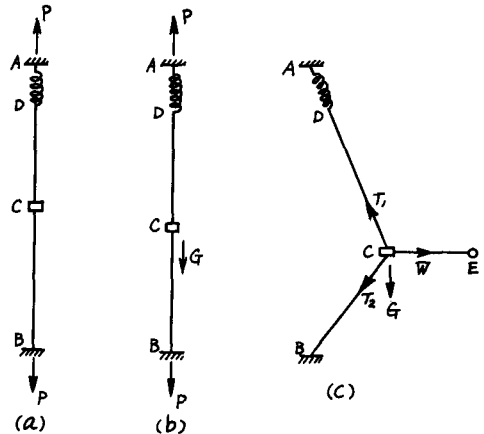


図-5

お, AB 間の合成のひび剛さ γ_u は式(3)から

表-1

ケーブルの状態	$T_1 \text{ g}$	$T_2 \text{ g}$	$W \text{ g}$
アレストレス導入(P)	79.7	80.0	0
30.0g 載荷(G)	84.6	56.0	0
風荷重作用(W)	110.2	81.3	8.4

$$\gamma_u = \frac{9.0 + 91.8}{\frac{9.0}{1.786 \times 10^3} + \frac{91.8}{1.011 \times 10^5}} = 1.704 \times 10^4 \text{ (g)}$$

表-2

諸値	計算値(簡略解)	実測値
低減率 %	85.7	83.2
$\Delta P_u \text{ g}$	27.6	25.6
$\Delta P_k \text{ g}$		25.3

となる。

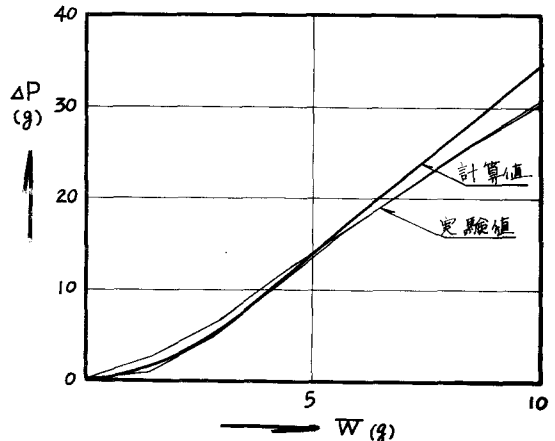


図-6

(2) 吊索2本のPCTの場合

①の実験はPCTを1本の柱に直した場合について行なったものであるが、実際のPCTにおいても、前述の計算式が合うかどうかを調べるため、ここでは図-7に示すような形状のPCTについて比較してみる。

各部の寸法を表-3に示す。

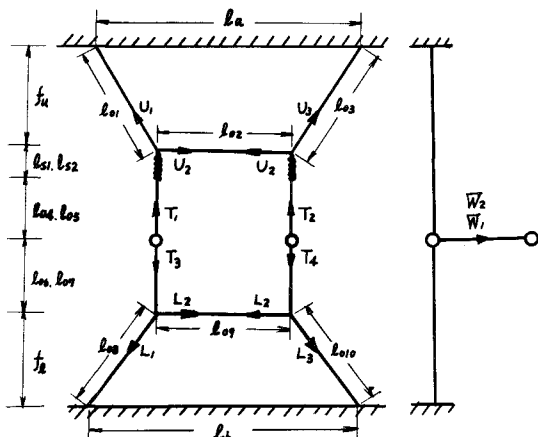


図-7

表-3

諸 値	数 値
スパン	l_a 171.0
	l_b 171.0
サ グ	f_u 26.6
	f_d 79.2
上 索	l_{s1} 62.0
	l_{s2} 59.0
	l_{s3} 62.0
上吊索	l_{s4} 62.0
	l_{s5} 9.0
	l_{s6} 62.0
	l_{s7} 9.0
下吊索	l_{s8} 62.0
	l_{s9} 62.0
下 索	l_{s10} 97.0
	l_{s11} 59.0
	l_{s12} 97.0

(cm)

実験法およびスプリングバ

ンス、マンガニン線ののび剛さは①の場合と同様である。Wと ΔP の関係を計算、実験の両方から求め図-8に示す。表-4の値は、図-8における $W=3.9$ gに相当するものである。この実験値と計算値とを比較すると、表-5のようになる。ここで合成のび剛さは計算の結果 $\alpha u = 9.810 \times 10^3$ g, $\alpha e = 6.543 \times 10^4$ gとなった。

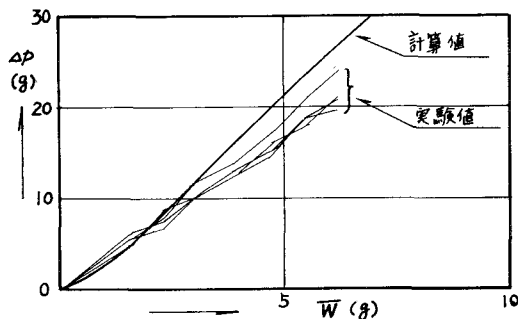


図-8

表-4

ケーブルの状態	測定張力 (g)					
	T_1	T_2	T_3	T_4	W_1	W_2
アレスミス導入(P)	392	392	398	398	0	0
30.0g 載荷 (G)	454	456	190	190	0	0
風荷重作用 (W)	579	594	31.6	32.2	3.9	3.9

6. おすび

以上の結果からわかるように、PCTを1本の柱に直して考える場合も $\Delta P_u \approx \Delta P_e$ となり実験値と計算値とがかなりよく合っている。したがって、実際の場合も $\Delta P_u = \Delta P_e = \Delta P$ とした簡略式で風荷重による増加張力をかなり正確に、簡単に求めることができると考えられる。なお、動力学的な実験もマンガニン線を用いる方法によると手軽に、かなり正確に行ない得るものと考えられる。

参考文献

① 渡辺、出光、大神、飯田；「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」土木学会論文集第153号、昭和43年6月

② 渡辺、出光、大神、豊福；「PCT工法の解析とその実験」橋梁、VOL.4 NO.6、昭和43年6月号

③ 渡辺、出光、吉田、飯田、大神；「PCT(プレテンションドケーブルトラス)工法の実施例と長大橋への応用」橋梁と基礎、2-11、昭和43年11月号

表-5

諸 値	計算値(簡略解)	実験値
低減率(%)	82.5	77.0/77.6
ΔP_u (g)	15.7	12.5/13.8
ΔP_e (g)		12.6/13.2

1. T_1, T_3, W_1 から求めた実験値
2. T_2, T_4, W_2 から求めた実験値