

I-209 斜張橋の応力調整に関する二、三の考察

大阪大学工学部 正員 前田 幸雄
 大阪大学工学部 正員 ○林 正
 大阪大学工学部 学主員 迫田 治行

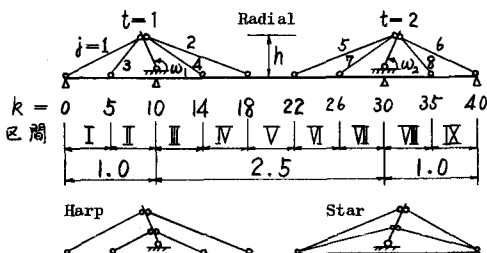
1. まえがき 通常の斜張橋において、外力荷重による主桁の応力を減少させるには、ケーブルの数を増すか、あるいは、ケーブルの剛性を高めれば良いが、現実には経済的な理由から制約される。また、ケーブルの張り方²⁾や剛比を変えることによりある程度の応力調整を行なうことは可能である。一方、この様な方法より更に直接的な方法としては、ケーブルにプレストレスを導入する方法²⁾が考えられる。本研究では、各ケーブルに導入するプレストレス量とそれによる応力及び変形量との関係を調べてみると同時に、プレストレスを導入することにより外力荷重による主桁の曲げモーメントを改善すれば圧縮力が増加するのは必然のことなので、これに対する手段として塔を傾斜させる方法¹⁾及び端ケーブルを地中に定着する方法によって、主桁の軸力を調整することを考えた。

2. 研究内容 本研究では、数値計算により次の3種類の応力調整法を考察した。

(1) 研究項目

- ① 塔を傾斜させる方法
- ② ケーブルにプレストレスを導入する方法
- ③ 端ケーブルを地中に定着する方法

図-1 構造形式と部材・格点の番号



(2) 数値計算 (INPUT DATA) 数値計算対象とした斜張橋の形式及び断面諸元は次の通りである。

a) 構造形式 (図-1)

- i) 斜張橋は2基の塔と8本のケーブルを有する対称形とし、その基本主桁は等断面で径間比 1.0 : 2.5 : 1.0 なる3径間連続桁とする。
- ii) ケーブルの主桁取付位置は等間隔とし、その張り方は Radial, Harp, Star-Type の3種類とする。
- iii) 基本形式は最も実用性の高い A1-1 Type³⁾ (塔基部はヒンジ支承、全ケーブルは塔上で固定支持) とする。
- b) 無次元パラメータ。数値計算で用いた無次元パラメータは既設の斜張橋を参考に12次の様に定めた。

$$h/l_0 = 0.1, E_c I_c / E_s J_c = 10, E_c I_c / l_0^2 E_s A_s = 10^{-4}, E_c I_c / w l_0^3 = 0.03, E_c I_c / P l_0^2 = 1.0$$

ここに、 $E_c I_c$, $E_s J_c$: 主桁及び塔の曲げ剛性, $E_s A_s$: ケーブルの伸伏剛性, h : 塔の高さ, l_0 : 橋長, w , P : 全載等分布荷重及び集中荷重

c) 変化させたパラメータ。数値計算で変化させたパラメータは次の3種類である。

i) 塔の傾斜角 (ω_t)

$$\omega_1 = 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ, 100^\circ, 110^\circ, 120^\circ, 130^\circ \text{ (第1塔)}, \quad \omega_2 = 180^\circ - \omega_1 \text{ (第2塔)}$$

ii) ケーブルへのプレストレス導入量 (d_j) プレストレス量としては各々のケーブル長さ l_j に対する緊張長さを考え、対称位置にあるケーブルには同量の緊張量を与えるものとする。プレストレス量 d_j は、ケーブル長の $1/1000$ を基準緊張量とし 0 から 1.5 まで 0.125 間隔で変化させた。即ち

$$d_j = 0, 0.125, 0.250, \dots, 1.500 \times 10^{-3} l_j$$

の1/3通りの緊張量を各ケーブルに対して考えたので、斜張橋に導入したプレストレスはこれらの組合せにより合計1/3⁴通りになる。

iii) 端ケーブルの定着度 (p_a) ケーブルは、通常、数本のストランドを束ねて用いられるので、端ケーブルを構成するストランドを図-2の如く主桁と地中とに分けて定着するものとし、そのとき地中への定着割合を p_a % として示す。 p_a としては 0 から 100% までは変化させ、 $p_a = 0\%$ の場合を Self-anchor, $p_a = 100\%$ の場合を Full earth-anchor, これらの中間的な場合を Partial earth-anchor と呼ぶことにする。

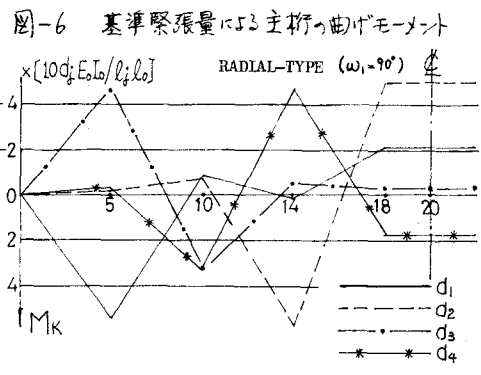
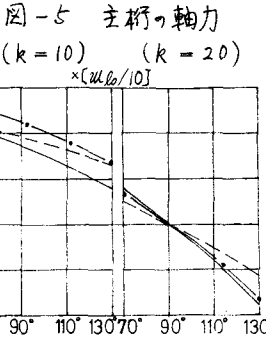
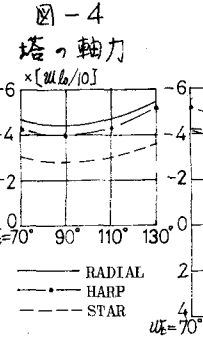
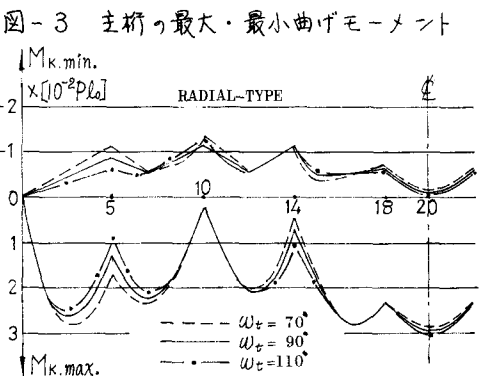
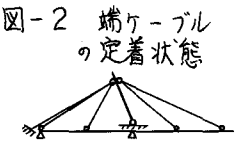
(3) 計算結果 数値計算で算出した値は、主桁に関しては軸力 (N_k), 曲げモーメント (M_k), たわみ (δ_k), 塔に関しては軸力 (N_t), 曲げモーメント (M_t) 及びケーブル張力 (X_j) などである。

3. 応力調整に関する考察 本節では、数値計算の結果から前述の応力調整についての静力学的特性を述べるとともに、若干の考察を行なう。

(1) 塔の傾斜による調整
Radial, Harp, Star-Type とも塔を外側に傾斜させると、主桁の曲げモーメント、たわみ及び塔の軸力はわずかに変化するが(図-3, 4), 主桁の圧縮軸力はかなり減少する(図-5)。そして、この場合 Harp, Star-Type では塔の曲げモーメントは増加するが、その増加量は後述のプレストレスにより十分に補えるので問題にならない。また、塔を内側に傾斜させると主桁の圧縮軸力は増加することが図-5よりわかる。

(2) プレストレスによる調整
プレストレスの導入量は、設計計算では主桁の数箇所、通常は不静定次数に等しい数の断面の曲げモーメントまたは変形量を調整するように選ばれているので、プレストレス量は一義的に決定できる。しかし、構造物全体について応力を調整しようとするれば、プレストレスの導入量は各ケーブルの緊張量の組合せにより無限に考えられる。本文で用いた程度の断面諸元を有する斜張橋については、数値計算の結果からプレストレス導入量はケーブル長の 3/2000 以下の緊張量で十分に応力調整を行なうことができることがわかった。

プレストレス導入の意義は、主として主桁の曲げモーメント及びたわみの減少を図ることにあるが、ケーブルを緊張することにより主桁の接点 10 と 20 に生ずる最小と最大曲げモーメントを減少させることは容易であり、また、分布荷重による主桁の曲げモーメントを、



ケーブルの主桁支持点を剛支承と考えた9径間連続桁の値に近づけることも可能であるが、圧縮軸力の大きい側径間の曲げモーメントを側径間全長にわたって一様に減少させることはできない(図-6)。

以上のことからプレストレス導入の条件として、主桁の曲げモーメントを局部的に大きな値が生じないように桁全長にわたって9径間連続桁の値に近づけるようにし、かつ、塔の曲げモーメントも小さくなるように選ぶのが好ましいと思われる。

表-1 プレストレスによる断面力・変形量

単位: $M_k \times [10^3 w l_0^2]$, $\delta_{20} \times [10^4 w l_0^4 / E_s I_s]$, $M_t \times [10^5 w l_0^2]$

(a) RADIAL-TYPE ($\omega_t = 90^\circ$)					$ M_k _{\max}$	δ_{20}	M_t
Case No.	ケーブル緊張量 $\times [kg/2000]$	d_1	d_2	d_3			
0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.147	2.94	0.0
1	1.0	2.5	0.25	2.0	1.241	0.05	0.0
2	1.5	2.0	0.75	1.5	1.134	0.04	0.0
3	2.0	1.5	1.75	0.75	1.364	0.02	0.0
4	2.5	1.0	2.25	0.0	1.245	0.05	0.0
(b) HARP-TYPE ($\omega_t = 90^\circ$)					$ M_k _{\max}$	δ_{20}	M_t
Case No.	ケーブル緊張量 $\times [kg/2000]$	d_1	d_2	d_3			
10	0.0	0.0	0.0	0.0	2.905	3.18	2.19
11	1.0	2.5	0.75	3.0	1.341	0.04	1.53
12	1.5	2.0	1.25	2.25	1.237	0.07	-1.27
13	2.25	1.25	2.0	1.5	1.237	0.07	-1.27
14	2.75	1.0	2.25	1.25	1.211	-0.13	0.55

全載等分布荷重が作用する場合に、このような傾向を示すプレストレスの導入条件を134通りの計算結果から判断して箇条書きしてみた。各形式において、それぞれ3つの条件を同時に満足するものとする。また、そのうちから数例を選んで、表-1と図-7(a),(b)に示した。

Radial-Type ($\omega_t = 90^\circ$)

- i) $d_1 > d_3$, $d_2 > d_4$
- ii) $d_1 > d_2$, $d_3 > d_4$ または $d_2 > d_1$, $d_4 > d_3$
- iii) $(d_1 + d_2) / (d_3 + d_4) \div 1.5$

Harp-Type ($\omega_t = 90^\circ$)

- i) $d_1 > d_3$, $d_4 > d_2$
- ii) $d_1 \geq d_2$, $d_3 \geq d_4$ または $d_2 \geq d_1$, $d_4 \geq d_3$
- iii) $(d_1 + d_2) / (d_3 + d_4) \div 1.0$

塔を傾斜させた場合の条件は、Harp-Typeでは上述の条件と殆んど変らないが、Radial-Typeでは2本の上段ケーブルの緊張量の和と下段ケーブルの緊張量の和の比は、上に示した値とは多少異なる。なお、上述の条件を満足するものでも9径間連続桁の曲げモーメントに近づかない場合があることには注意を要する。

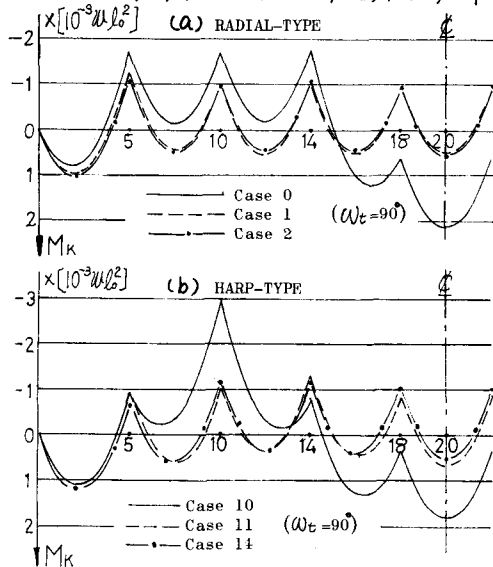
次に、上述のようなプレストレスを導入した場合、主桁のたわみについては十分に調整可能であり(表-1)、また主桁の軸力はプレストレスによる増加量あまり大きくないで、塔を外側に傾斜させることにより十分補い得る(表-2参照)。

Star-Typeについては、上述とは全く異った性状を示す。すなわち、ケーブルの主桁支持点の数が少ないことから、プレストレスの効果は極めて少なく、かつ、プレストレスによる主桁の曲げモーメントは側径間と中央径間とで符号が相反することから、主桁の曲げモーメントの改善を図ることは困難であり、さらに主桁の圧縮軸力も著しく増大するので、応力調整という点では意味がない。

(3) 端ケーブルの定着による調整

端ケーブルを地中と主桁に分けて定着したPartial-anchorの場合、変化する断面力は主桁の軸力と反力であるが、地中への定着割合を増すと主桁の圧縮力は減少する(図-8)。このように端ケーブル

図-7 プレストレスによる主桁の曲げモーメント



を Partial earth-anchor する割合は、主桁の曲げモーメントとの関連性から一意的には決定できないけれども、長径間の斜張橋で特に問題となる主桁の圧縮力を減少することができ、しかも独立に調整できることから極めて意義のある方法と考えられる。

以上のことから、応力調整を行なわない斜張橋 (Case No. 0, 10) と、上述の応力調整を行なった斜張橋の断面力を比較したが、表-2と図-9である。この結果から、3種類の応力調整法を組合せれば、ケーブル張力と塔の軸

図-8 主桁の軸力

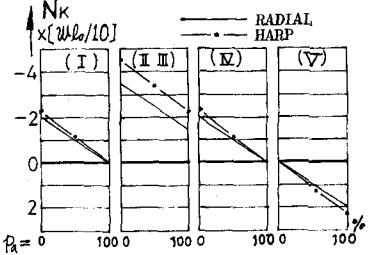


表-2

力は増加するが、主桁の軸力・曲げモーメント・たわみ及び塔の曲げモーメントをかなり減少させることができる。

4. 要約

① Radial, Harp-Type では応力調整を行なうことにより、断面力の均一化と減少を図ることができる。

② Star-Type は応力調整を行なう利点が少なく、たわみ調整以外に意味を持たない。

③ 本文で扱った3種類の調整法は、単独で行なうよりも組合せて行なう方がより効果的である。

④ 塔は外側に傾斜させ、端ケーブルは Partial anchor にするがよい。ここで注意すべきことは、プレストレス導入量の迷ひ方であって、緊張量の絶対量より各ケーブル間での比が問題となる。したがって、設計においては、数回の試算を行なう必要があろう。

5. あとがき 本研究で扱わなかった他の基本形式の斜張橋についても、同じように応力調整を行なうことができるが、詳細については省略する。

参考文献

- 1) 前田・林・平野：傾斜した塔を有する斜張橋について、関西支部年次学術講演概要，昭和44年5月
- 2) 前田・林・迫田：プレストレス導入における斜張橋の弾性挙動について、関西支部年次学術講演概要，昭和45年5月
- 3) 前田・林：斜張橋の形式による静力学的構造特性に関する研究，土木学会論文集，第175号，昭和45年3月

主桁軸力 単位： $\times [\omega L]$

(a) RADIAL-TYPE ($\omega_1=110^\circ$)					(b) HARP-TYPE ($\omega_1=110^\circ$)				
Case No.	d_1	d_2	d_3	d_4	$M_{K, max}$	$M_{K, min}$	δ_{20}	M_t	N_t
0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.147	-1.764	2.94	0.0	-4.42
21	1.0	2.25	0.5	1.5	0.942	-1.349	0.13	0.0	-4.81
22	1.5	2.0	1.0	1.25	0.984	-1.243	0.08	0.0	-4.80
23	2.0	1.75	1.75	1.0	0.972	-1.273	0.03	0.0	-4.82
24	2.5	1.5	2.25	0.75	1.015	-1.167	-0.01	0.0	-4.81
25	2.75	1.25	3.0	0.25	0.943	-1.347	0.12	0.0	-4.80

注 Case 0, 10 では $\omega_1=90^\circ$

図-9 主桁の曲げモーメント

