

3 径間連続桁を基本系とする斜張橋の形式 による静力学的構造特性に関する研究*

A STUDY ON STATIC STRUCTURAL CHARACTERS FOR
CABLE-STAYED GIRDER BRIDGES WITH A THREE-SPAN
CONTINUOUS BEAM AS THEIR PRINCIPAL SYSTEM

前田幸雄**・林 正***
By Yukio Maeda and Masa Hayashi

1. 緒 言

斜張橋の構造を選定する場合、いかなる形式の斜張橋を用いるべきか判断に迷うことが多いと思うが、わが国においてすでにいくつか架設された斜張橋は、その形式および形状はドイツの例を参考にして決定されたものが多いように見受けられる。実際、斜張橋は自由度の高い構造物であるがために、それだけ種々の形式が存在する。すなわち、塔の支持形式、ケーブルの張り方および塔との結合形式、ケーブルの主桁支持位置等構造上の諸条件を組み合わせれば数限りなくいろいろな形式が考えられるが、これらの条件が斜張橋全体の弾性特性にどのような影響を与えるかを知っておくことは、斜張橋の構造形式を決定するうえに必要なことと思う。この種の研究はいままでにもいくつか発表されているが^{1)~4)}、資料の量も少なく、かつ特定な資料のみで斜張橋全般の特性を論じている感があり、総合的に行なわれた研究はまだ見あたらないようである。斜張橋を合理的に設計するには、静力学的な面からだけではなく動力学的な面からも検討すべきであるが、静力学的な性質が基本であると考えて、本文では3径間連続桁を基本系とした斜張橋の静力学的な構造特性を調べた。

元来、斜張橋は連続形式の主桁をケーブルで補剛した形式であるから、その構造特性は基本主桁の性質によりかなり左右されることは論をまたない。しかし、前述の構造条件の影響を追究するために、本文では題目にも示したように基本主桁として径間割の一定なる3径間連続桁を有する斜張橋に限定した。構造形式のほかに斜張橋の弾性挙動を支配する要素は多く、部材の剛性も大きな

影響を与えるが、この部材の剛性による弾性特性は本文では割愛した。研究方法としては、参考文献1)で導いた弾性方程式に通常の斜張橋に用いられる断面諸元を与え、大型電子計算機の使用による数値解析によって形式による構造特性を追究した。本文の資料は参考文献1)で行なった計算量の数十倍になる。これらの資料が斜張橋の構造形式を決定するための実用上必要な参考資料に加えられるれば幸である。

本文中での説明のない記号については、参考文献1)を参照されたい。

2. 研究内容

(1) 研究項目

本文ではつぎの4項目について、斜張橋の形式による静力学的構造特性を明らかにした。

- ① 塔の支持形式による影響
- ② ケーブルの支持形式による影響
- ③ ケーブルの張り方による影響
- ④ ケーブルの主桁支持位置による影響

研究項目①は、塔基部の支承条件、すなわちヒンジ支承、固定支承および弾性支承による影響が、ケーブル、塔および主桁に生ずる応力と変形とにどのように現われるかを調べるものであり、項目②は塔上におけるケーブルの支持条件、すなわち固定支持と滑動支持との相違による影響を明らかにしようとするものである。項目③の内容は、塔に関する代表的な3つのケーブルの張り方による影響を、項目④はケーブルの主桁を支持する位置の変化による影響を解明せんとするものである。

項目①、②は参考文献1)でいう斜張橋の基本形式による特性であり、項目③、④はケーブルの幾何学的な形状による特性を表わしている。

* 土木学会第23回年次学術講演会にて一部発表済み

** 正会員 工博 大阪大学教授 工学部土木工学教室

*** 正会員 大阪大学助手 工学部土木工学教室

(2) 数値計算例 (INPUT DATA)

数値計算の対象とした斜張橋は、つぎのような構造を有する。

a) 斜張橋は2基の塔と8本のケーブルを有する対称形とする。

b) 基本主桁は等断面の3径間連続桁とし、その径間比は1.0:2.5:1.0とする(既設の3径間連続斜張橋の径間比はほとんどこの値に近い⁵⁾)。

c) 基本形式は文献¹⁾のA₁, A₂, A₃, A₄, B₁' , B₂'-Typeの6形式とする。

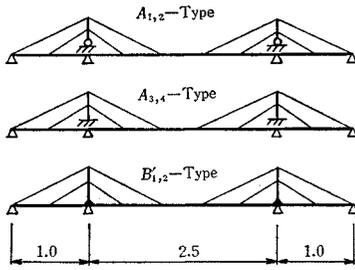


図-1 数値計算例の基本形式

図-1に示すように、1基の塔に4本のケーブルが存在するから、固定支持と滑動支持の2通りのケーブル支持形式を組み合わせることにより斜張橋の基本形式として11形式が考えられる。これらをつぎのような記号で表わす。

A_{1,2}-Type : A₁₋₁, A₁₋₂, A₂₋₁

A_{3,4}-Type : A₃₋₃, A₃₋₄, A₄₋₃, A₄₋₄

B_{1,2}'-Type : B₁₋₁' , B₁₋₂' , B₂₋₁' , B₂₋₂'

2重添字の前の数字は上段ケーブルの支持形式を、後の数字は下段ケーブルの支持形式を示す。また、数字1または3は固定支持を、2または4は滑動支持を表わす。

d) ケーブルの張り方はRADIAL, HARP, STAR-Typeの3形式とする(図-2)。

ここに、HARPおよびSTAR-Typeにおける下段ケーブルの塔との取付位置は、美観的な面も考えて計算の便宜上、上段ケーブルの取付位置と塔基部との中点に設けた。また、塔基部は主桁の重心軸と同一基準線上にあるものと見なす。

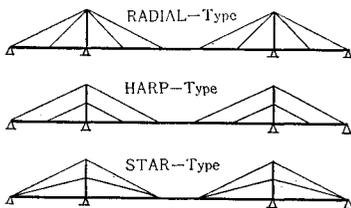


図-2 ケーブルの張り方

以上より、斜張橋の構造形式としては、構造条件c)とd)とを組み合わせた33形式となり、これらを表わすにはつぎのような記号を用いた。たとえば、A₁₋₁-Typeと図-2の3形式を組み合わせた場合には

R.A₁₋₁, H.A₁₋₁, S.A₁₋₁

とする。

e) ケーブルの主桁支持位置は6通りの場合を考え、主桁格点番号(図-3参照)を用いて表-1,2に示す。

表-1 ケーブルの主桁支持位置 (RADIAL, HARP-Type)

Cable No.	1	3	4	2	5	7	8	6
P-0	0	5	14	18	22	26	35	40
P-1	0	5	15	19	21	25	35	40
P-2	0	5	15	20	20	25	35	40
P-3	1	5	14	18	22	26	35	39
P-4	2	6	14	18	22	26	34	38
P-5	3	6	14	18	22	26	34	37

表-2 ケーブルの主桁支持位置 (STAR-Type)

Cable No.	1	3	4	2	5	7	8	6
P-0	0	0	18	18	22	22	40	40
P-1	0	0	17	17	23	23	40	40
P-2	0	0	16	16	24	24	40	40
P-3	1	1	18	18	22	22	39	39
P-4	2	2	18	18	22	22	38	38
P-5	3	3	18	18	22	22	37	37

表-1,2からわかるように、ケーブルの主桁支持位置の影響を調べるためには、各塔に関して対称形にケーブルを配置した形式(P-0)を標準形式とし、他の形式では端径間を支持するケーブル位置はそのままとして中央径間を支持するケーブル位置を変化させた形式(P-1, 2)と、逆に端径間を支持するケーブルのみの位置を変化させた形式(P-3, 4, 5)とを比較した。

以上より、構造特性を調べた斜張橋の構造形式は、198形式となる。

f) 数値計算に用いた断面諸元は各形式とも同じ値であり、すべて無次元化した。この無次元量は、上段ケーブルの塔との取付位置の高さに関する量と、塔およびケーブルのたわみ性を表わす量である。なお、主桁の重心軸に対するケーブル定着位置の偏心はないものとした。

$h_t/l_0=0.1, E_0I_0/E_sJ_t=10 \quad (t=1, 2)$

$E_0I_0/l_0^2E_sJ_j=1 \times 10^{-4} \quad (j=1, 2, \dots, 8)$

ここに、 l_0, E_0I_0 は基準長さおよび基準剛度で、本文では主桁の全長および曲げ剛性を選んだ。上記の値は、既設の斜張橋の資料を参考にした。

(3) 計算値 (OUTPUT DATA)

以上の198形式の斜張橋について算出した諸量はつぎの10個である。

- ① ケーブル張力の鉛直成分 V_j

- ② ケーブル張力 X_j
- ③ 塔基部の軸力 N_t
- ④ 塔基部の曲げモーメント M_t
ただし、 $A_{1,2}$ -Type では塔の midpoint における値
- ⑤ 塔頂の水平変位量 ΔL_t
- ⑥ 塔の部材回転角 β_t
ただし、 $A_{3,4}$ -Type は除く
- ⑦ 主桁の支点反力 R_n
- ⑧ 主桁の軸力 N_k
- ⑨ 主桁の曲げモーメント M_k
- ⑩ 主桁のたわみ δ_k

上記の値は、図-3 のように主桁を 40 分割して、単位集中荷重 $P=1$ による影響値と、単位全載等分布荷重 $w=1$ による値を算出した。塔・ケーブル・主桁格点の番号を i, j, k (または荷重載荷点番号 i) で表わす。

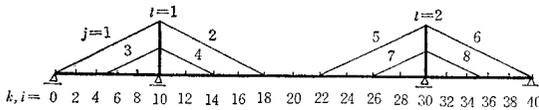


図-3 部材番号と主桁格点番号

3. 形式による静力学的構造特性

本節で示したグラフは、計算結果を整理して得た数百枚のグラフよりとくに興味のあるものだけを示した。

4 つの研究項目は互いに関連性があり、1 項目だけ切り離して論ずることができないので、各項目の内容は多少重複せざるを得ない。しかし、項目①の塔の支持形式による影響は、塔基部に生ずる曲げモーメントと塔頂の水平変位量を除けば大きく現われなかったため、ケーブルおよび主桁の影響値については 1 つの形式のグラフで他の 2 形式のグラフを代表したところもある。

研究項目①, ②, ③では、ケーブルの主桁支持位置を変えても塔に関する値以外ではいずれの場合でも同じことがいえるので、グラフは標準形式 P-0 の場合のみを示した。項目④では、主として $A_{3,4}$ -Type に関するグラフを示し、他の 2 形式 $A_{1,2}$ -Type と $B'_{1,2}$ -Type は省略した。

(1) 基本形式による特性

① 塔の支持形式による影響

塔の支持形式の相違による影響を図-1 に示した 3 種類の基本形式について調べたが、概略的な傾向としては塔の曲げモーメントと変形量には著しい差異が認められるが、ケーブルの取付条件を変えてもケーブル張力と主桁の断面力・変形量には塔基部の相違による影響はほとんど現われなかった。ケーブルを塔に関して対称形に張った P-0 の場合には、全ケーブルを塔上で固定支持し

た HARP-Type において塔の支持形式の違いによる影響が最も大きく現われ、一般的に H. $A_{3,3}$ -Type が他の 2 形式 H. $A_{1,1}$ -Type および H. $B'_{1,1}$ -Type より主桁の曲げモーメントとたわみはやや減少する。しかし、全ケーブルを滑动支持にした $A_{4,4}$ -Type および $B'_{2,2}$ -Type と、1 本のケーブルを滑动支持にした $A_{1,2}$ -Type または $A_{2,1}$ -Type は構造上同じ形式となって、塔基部の影響は現われない。また、ケーブルを非対称形に張った場合には、全ケーブルを滑动支持にした RADIAL-Type において最も影響が大きく現われたが、それでも R. $A_{4,4}$ -Type と R. $B'_{2,2}$ -Type の主桁の曲げモーメントの差は 10% 以内であった。しかし、このような弾性挙動には部材の剛性、とくに塔の曲げ剛性が関連しており、剛性を大きくすると塔の支持形式による影響がかなり顕著に現われる。逆に塔の曲げ剛性を小さくすると、究極的には塔基部の影響はなくなる。くわしいことは本文では省略するが、その一例を次節の考察で説明する。

以下、P-0 の場合について、各影響値におよぼす塔の支持形式による影響を詳述する。

④ ケーブル張力の鉛直成分 V_j (図-4, 5): ケーブルの張り方が RADIAL と STAR-Type の場合には、ケーブル張力の鉛直成分 $V_{j,i}$ は塔基部の状態による影響を全く受けない。HARP-Type の場合には全ケーブルを固定支持にしたときのみ前述のように塔基部の影響が現われ、とくに下段ケーブルである第 3, 4 ケーブルは $A_{3,3}$ -Type において一番有効に作用していることが図-5 よりわかる。しかし、塔上においてケーブルを 1 本でも滑动支持にすると、影響値 $V_{j,i}$ には差は現われなくなる。

全載等分布荷重に対する影響は集中荷重に対する場合

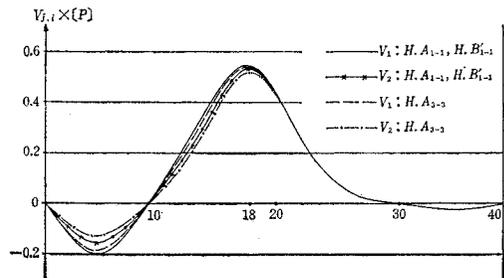


図-4 第 1,2 ケーブル張力の鉛直成分影響線 (HARP-Type)

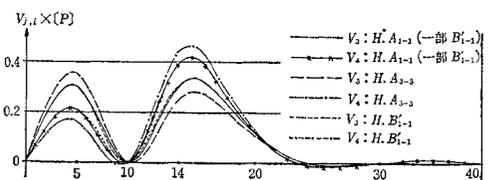


図-5 第 3,4 ケーブル張力の鉛直成分影響線 (HARP-Type)

よりもいっそう少なくなり、その値 $V_{j,w}$ は各形式において有効数字3けたないしは4けたまで一致した。

㊦ 塔基部の曲げモーメント M_t (図-6,7,8,9)：ロッキングタワーを用いた $A_{1,2}$ -Type では、全ケーブルを固定支持した $H.A_{1,1}$ -Type のみに塔の中間部に曲げモーメントが生ずるが（ただし、塔に関してケーブルを非対称形に張った場合はこの限りではない）、その値は小さい。一方、塔基部を固定または主桁に剛結した $A_{3,4}$ -Type と $B'_{1,2}$ -Type ではかなり大きな曲げモーメントが塔基部に作用する。この2形式を比較すると、ケーブルを HARP-Type に張った場合には $A_{3,4}$ -Type の方に大きな曲げモーメントが作用し、STAR-Type では逆の傾向を示しており、RADIAL-Type では $B'_{1,2}$ -Type の方がやや大きい。しかし、塔上におけるケーブルの支持形式による影響も大きいので一概には言い切れない。

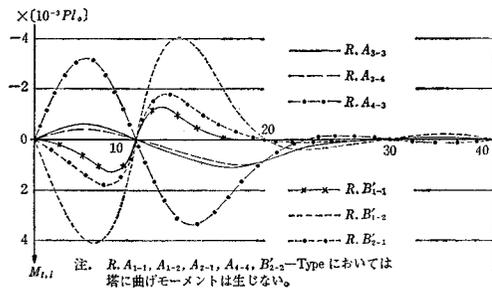


図-6 第1塔基部の曲げモーメント影響線 (RADIAL-Type)

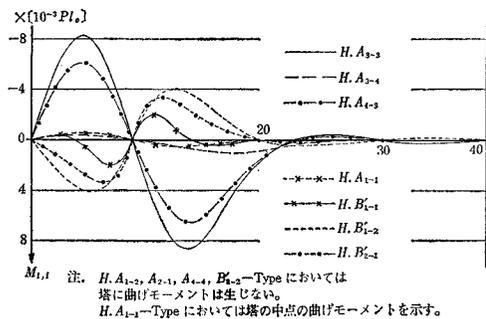


図-7 第1塔基部の曲げモーメント影響線 (HARP-Type)

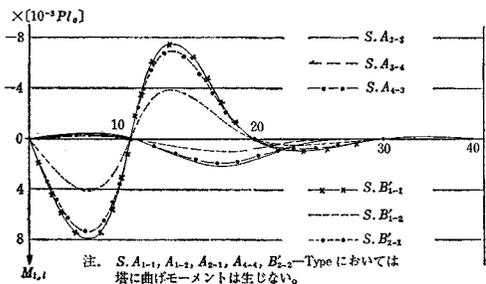


図-8 第1塔基部の曲げモーメント影響線 (STAR-Type)

全載等分布荷重に対しては、図-9 に示すように $A_{3,4}$ -Type においてきわめて大きな曲げモーメントが作用し、RADIAL および HARP-Type では $B'_{1,2}$ -Type にくらべて数十倍から百倍を越える値になって、塔基部の相違による影響が顕著に現われる。

㊧ 塔頂の水平変位 ΔL_t (図-10)：全ケーブルを固定支持、または下段ケーブルのみを滑动支持にした場合には、塔基部の影響は現われない。しかるに上段ケーブ

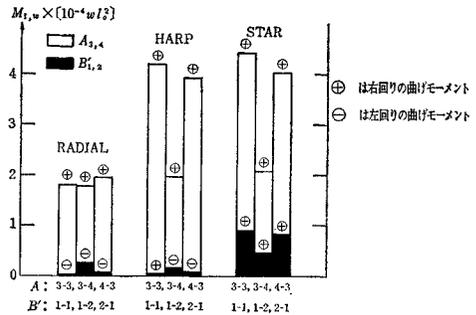


図-9 全載等分布荷重による第1塔基部の曲げモーメント

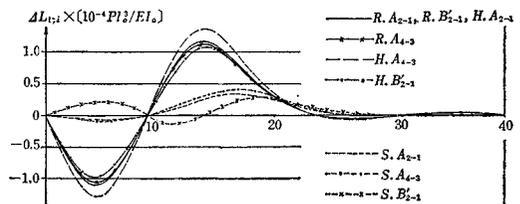


図-10 第1塔頂部の水平変位影響線

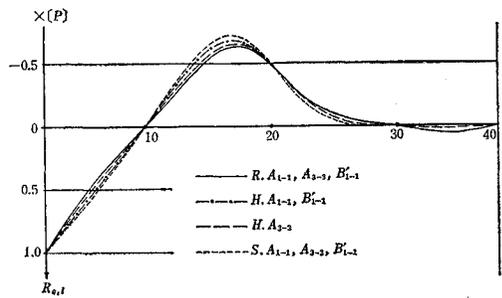


図-11 主桁の端支点反力影響線

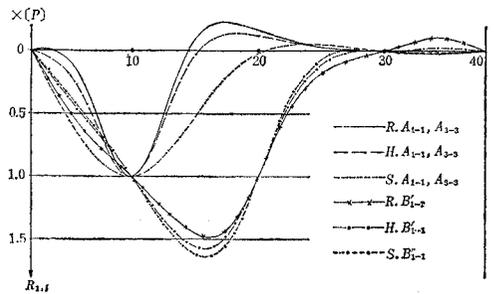


図-12 主桁の中間支点反力影響線

ルを滑动支持, 下段ケーブルを固定支持にした場合には, 図-10 に見られるように塔基部の影響が現われる。さらに全ケーブルを滑动支持にした場合には塔頂はケーブルにより拘束されないで, A_{4-4} -Type の塔は変形しないが, B'_{2-2} -Type では塔が主桁とともに傾くために最も大きな水平変位が起きる (図-22 参照)。

㊤ 主桁の支点反力 R_n (図-11, 12): 主桁の支点反力もケーブル張力の鉛直成分の場合と同じく HARP-Type 以外では塔基部の違いによる影響は認められない (図-11)。しかしながら $B'_{1,2}$ -Type においては, 主桁の中間支点到塔基部の反力が加わるために, 中間支点的反力は他の形式とは著しく異なるが, 主桁の支点反力と塔基部の反力を合計したものでは形式による違いは現われない。

㊦ 塔・主桁の軸力 N_i, N_k : 各形式におけるケーブル張力の鉛直成分の和 $\sum_{j=1}^4 V_{j,i}$ がほとんど同じであるので, 塔の軸力には塔の支持形式による相違は認められない。また, 主桁の軸力でも塔形式の影響は現われない。

㊧ 主桁の曲げモーメント M_k (図-13, 14, 15, 16): 主桁に作用する曲げモーメントについても塔基部による

影響をほとんど受けないといえる。図-13 に示した RADIAL-Type の場合では, $A_{1,2}$ -Type と $A_{3,4}$ -Type とではその差は認められない。 $B'_{1,2}$ -Type では, 中間支点上での塔との剛結点上に集中曲げモーメントを受けるためにこの影響が主桁の曲げモーメントに現われて, 剛結点の近傍でわずかながら有利な方に作用している。とくに, 塔基部に作用する曲げモーメントが最大になる R, B'_{1-2} -Type (図-6 参照) ではその影響が主桁の大部分におよんでおり, 塔を主桁に剛結した利点が現われている。

HARP-Type の場合を 図-14 に示したが, 全ケーブルを固定支持にした場合には H, A_{1-1} と H, B'_{1-1} -Type とは同じ値を示し, 中間支点付近でわずかに異なる。 H, A_{3-3} -Type は上記の 2 形式にくらべて下段ケーブルの定着点 ($k=5, 14$) 付近で減少しており, 塔基部を固定すれば下段ケーブルが有効に働くことがわかる。このことは 図-5 のケーブル張力の鉛直成分の値からも言える。しかし, 下段ケーブルを滑动支持にするとこの効果がなくなり, H, A_{1-2} と H, A_{3-4} -Type の曲げモーメントの値は同じになる。そして, H, B'_{1-2} -Type がわずかに有利になる。

STAR-Type は 図-15 から, RADIAL-Type と同

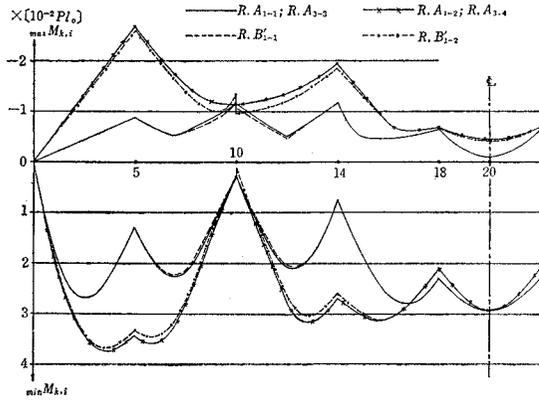


図-13 主桁の最大・最小曲げモーメント図 (RADIAL-Type)

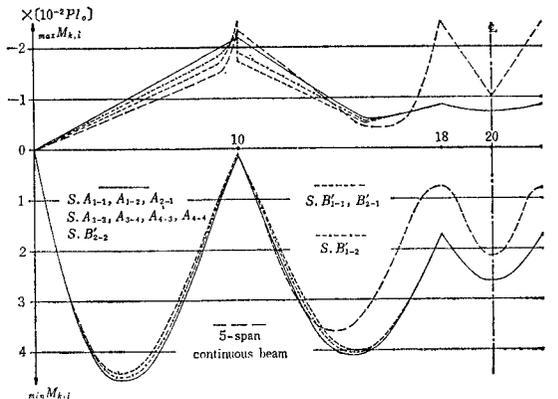


図-15 主桁の最大・最小曲げモーメント図 (STAR-Type)

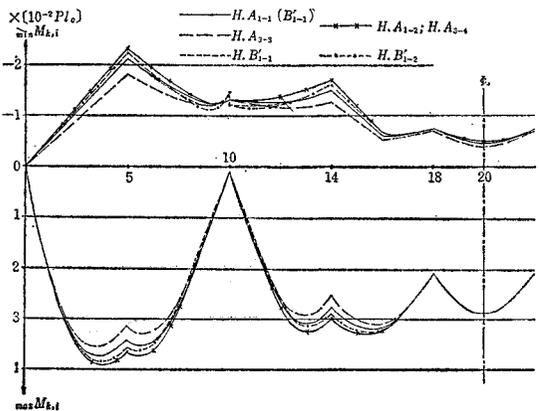


図-14 主桁の最大・最小曲げモーメント図 (HARP-Type)

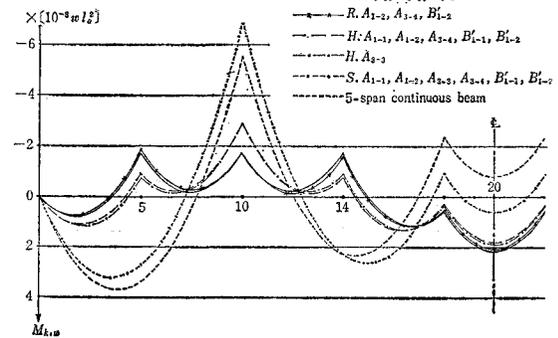


図-16 全載等分布荷重による主桁の曲げモーメント図

じことが言える。すなわち、 $A_{1,2}$ -Type と $A_{3,4}$ -Type とは同じ値を示し、 $B'_{1,2}$ -Type がやや有利である。

全載等分布荷重に対しては塔基部の影響は全く現われない。このことは塔基部の曲げモーメント以外の他の値についても言えることであって、塔の支持形式による影響は集中荷重の場合に比べていっそう現われなくなる。ただし、HARP-Type においては、全ケーブルを固定支持にしたときのみ $H.A_{3-3}$ -Type がやはりわずかではあるが有利になる (図-16)。

⑤ 主桁のたわみ δ_k (図-17, 18) : 集中荷重による主桁のたわみ影響値についても、上記の曲げモーメントと全く同じことが言える。すなわち、 $A_{1,2}$ -Type と $A_{3,4}$ -Type との比較では、 $H.A_{3-3}$ が $H.A_{1-1}$ -Type よりたわみが少なく塔基部の影響が認められるが、他の形式では認められない。 $B'_{1,2}$ -Type については、 $R.B'_{1-1}$ -Type はケーブルに関する条件が同じ他の 2 形式 $R.A_{1-1}$ と $R.A_{3-3}$ -Type とでは同じ値になって影響は現われないが、図-17 には示さなかった $R.B'_{1-2}$ 、 $H.B'_{1-1}$ -Type についてはやはり主桁の曲げモーメントについてと同じく他の 2 形式よりいくぶんたわみが少なく、塔基部を剛結した影響がある。

全載等分布荷重については、塔の支持形式による相違はいっそう少なくなる。

② ケーブルの支持形式による影響

塔上でのケーブルの支持形式による影響は大きい。とくにケーブルを RADIAL-Type に張った場合が最も著しく、STAR-Type では塔の曲げモーメント以外では大して影響しない。全載等分布荷重または対称荷重に対しては、ケーブルの支持形式による影響は認めがた

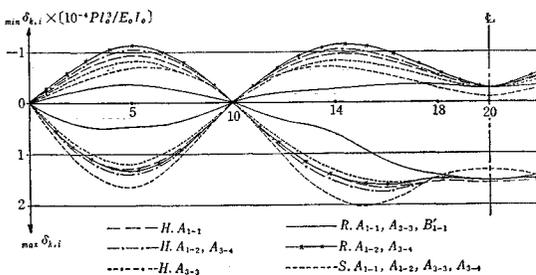


図-17 主桁の最大・最小たわみ図

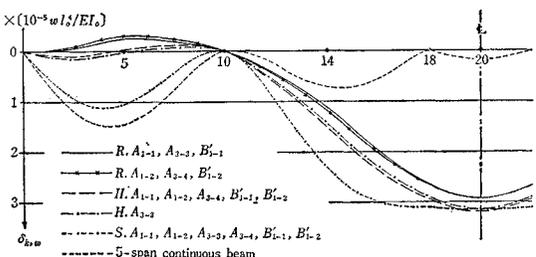


図-18 全載等分布荷重による主桁たわみ図

い。

$A_{1,2}$ -Type では、上・下段ケーブルのどちらかを滑動支持にすると、塔の平衡条件により固定支持された残りの 2 本のケーブル張力は等しくなる。したがって、 $A_{1,2}$ -Type と A_{2-1} -Type とは塔の水平変位または部材回転角を除けば完全に同じ挙動を示す。さらに STAR-Type では上・下段ケーブルの主桁支持位置が同じであるために、 $S.A_{1-1}$ -Type は他の 2 形式 $S.A_{1-2}$ 、 $S.A_{2-1}$ -Type と全く同一な構造形式となる。しかし、ケーブルを塔に関して非対称形に張った場合には、ケーブルの支持形式が違えば異なった構造物としての挙動を示す。

$A_{3,4}$ -Type と $B'_{1,2}$ -Type とでは、塔に作用する曲げモーメントと水平変位量を除けば、上・下段ケーブルのどちらかを滑動支持にしても他の断面力と変形量には大して影響はなく、さらに全ケーブルを滑動支持にしてもその影響は現われない。この 3 形式に関しては、下段ケーブルのみを滑動支持にした場合と全ケーブルを滑動支持にした場合とがよく類似している。すなわち $A_{3,4}$ -Type について言えば、 A_{3-4} と A_{4-4} -Type とが酷似しており、 A_{4-3} -Type もこの 2 形式にほとんど一致する。このことは、 $B'_{1,2}$ -Type についても大体言える。また、全ケーブルを滑動支持にした HARP および STAR-Type は、塔の曲げ剛性を小さくした場合の全ケーブル固定支持の弾性挙動に近づく。

ケーブルの支持形式による影響は主として $A_{1,2}$ -Type について説明するが、他の $A_{3,4}$ -Type、 $B'_{1,2}$ -Type についても同じ傾向を示すことは前項①で述べたとおりである。

⑧ ケーブル張力の鉛直成分 V_j (図-19, 20) : ケーブル張力の鉛直成分におよぼす影響を調べてみると、上段ケーブルの第 1, 2 ケーブルは図-19 に見られるように RADIAL-Type では、全ケーブルを固定支持した場合には V_1 -曲線と V_2 -曲線とは異なった形をしているが、1 本のケーブルを滑動支持にした $R.A_{1-2}$ または $R.A_{2-1}$ -Type ではその値は固定支持にした場合の V_1 、 V_2 -曲線の平均的な値になって滑動支持にした影響が現われる。一方、HARP-Type では、全ケーブルを固定

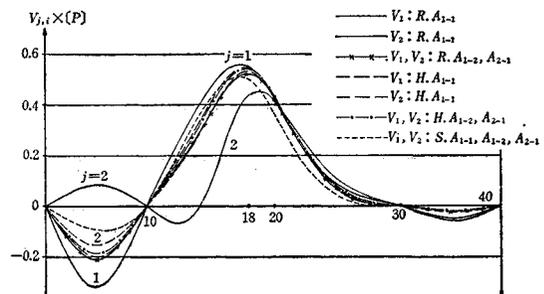


図-19 第 1, 2 ケーブル張力の鉛直成分影響線 ($A_{1,2}$ -Type)

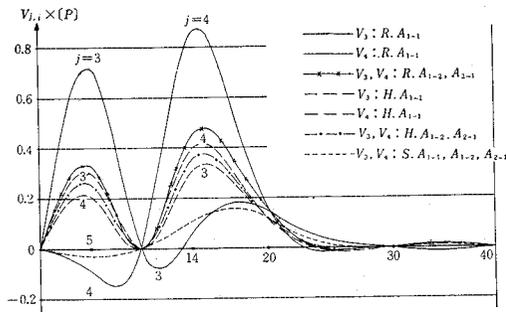


図-20 第 3,4 ケーブル張力の鉛直成分影響線 ($A_{1,2}$ -Type)

支持にした場合には 2 本のケーブルの影響線はほとんど同じ形をしており、ケーブルを滑動支持にすればこれら 2 本の値を平均したものになって、結局 3 本の曲線はほとんど一致することから、ケーブルの支持形式による影響は HARP-Type ではわずかである。STAR-Type では前述のようにケーブルの支持形式に関係なく同じ値になってその影響は現われない。

第 3,4 ケーブルについては、図-20 からケーブルの張り方による差が大きいことがわかる。STAR-Type においてはケーブルの支持形式による影響は現われず、HARP-Type でも大して現われないが、RADIAL-Type ではきわめて大きくて、滑動支持にすると $V_{3,i}$, $V_{4,i}$ の最大値は半減するために、主桁の曲げモーメントが逆に増加してきわめて不利になることは後で説明する。

⑤ 塔基部の曲げモーメント M_i : $A_{1,2}$ -Type では塔基部に曲げモーメントは生じないが、他の $A_{3,4}$ -Type と $B'_{1,2}$ -Type においてケーブルを塔に関して対称形に張った場合に、全ケーブルを滑動支持にすれば塔に曲げモーメントが生じないのは当然であるが、1 本のケーブルを滑動支持にしても全ケーブルを固定支持にした場合にくらべて曲げモーメントが減少するとは限らない。むしろ RADIAL-Type では全ケーブルを固定支持にしたほうが減少するし(図-6)、HARP-Type でも $B'_{1,2}$ -Type では全ケーブルを固定支持にするほうが好ましいと言える(図-7)。しかし、 $H, A_{3,4}$ -Type では逆の傾向を示す。STAR-Type では、 $A_{3,4}$ -Type および $B'_{1,2}$ -Type とも下段ケーブルのみを滑動支持にすると、全ケーブルを固定支持にした場合のほぼ半分に減少することがわかる(図-8)。

全載等分布荷重が載荷された場合に現われる影響は、全ケーブルを滑動支持にした場合は別にして、 $R, A_{3,4}$ -Type ではほとんど現われず、STAR-Type では集中荷重に対する影響と同じであり、さらに $H, A_{3,4}$ -Type でも他の支持形式の場合よりも半減していることから、この下段ケーブルのみを滑動支持にした形式がきわめて

有利なことがわかる。 $R, B'_{1,2}$ -Type および $H, B'_{1,2}$ -Type に対しては、その値がきわめて小さいことから、ケーブルの支持形式による影響は問題にならない(図-9 参照)。

⑥ 塔頂の水平変位 ΔL_i (図-21, 22) : 前項 ① においてすでに説明したように、RADIAL と HARP-Type では上段ケーブルを固定支持にすれば塔頂の水平変位は少ないが、滑動支持にすると塔頂は大きく変位し、ケーブルの支持形式による影響はきわめて顕著に現われる。これに反して、STAR-Type では大して影響を受けず、またその値も小さい。

⑦ 塔・主桁の軸力 N_i, N_k (図-23, 24, 25, 26) : 軸力についてはケーブルの支持形式による影響は少ないといえるが、やはり RADIAL-Type だけは、ケーブル張力においてとくに影響が認められたように(図-19, 20; 27)、格点番号 5~18 の主桁の軸力は全ケーブルを固定支持にした場合が一番減少する(図-25, 26)。

⑧ 主桁の曲げモーメント M_k : 主桁の曲げモーメン

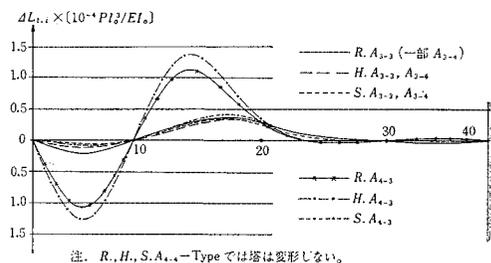


図-21 第 1 塔頂部の水平変位影響線 ($A_{3,4}$ -Type)

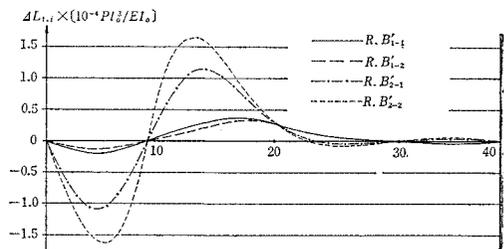


図-22 第 1 塔頂部の水平変位影響線 ($R, B'_{1,2}$ -Type)

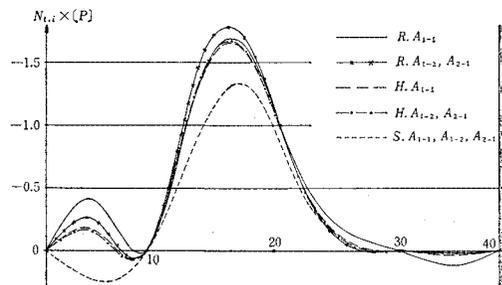


図-23 第 1 塔基部の軸力影響線 ($A_{1,2}$ -Type)

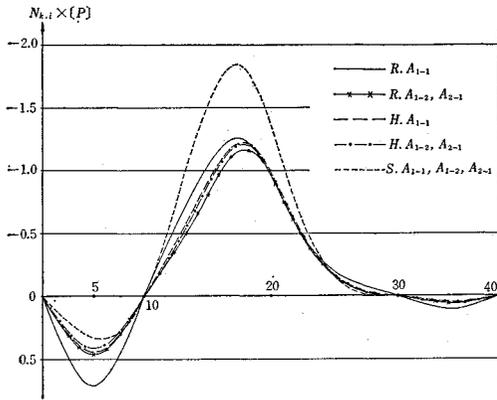


図-24 主桁の格点 0~5 の軸力影響線 (A_{1,2}-Type)

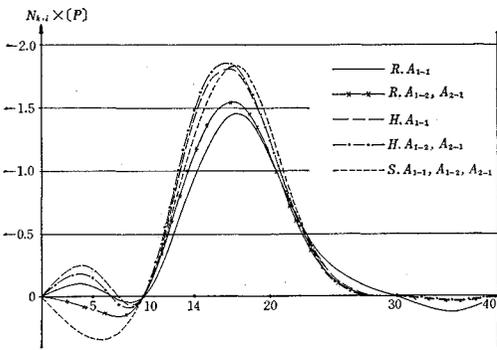


図-25 主桁の格点 5~14 の軸力影響線 (A_{1,2}-Type)

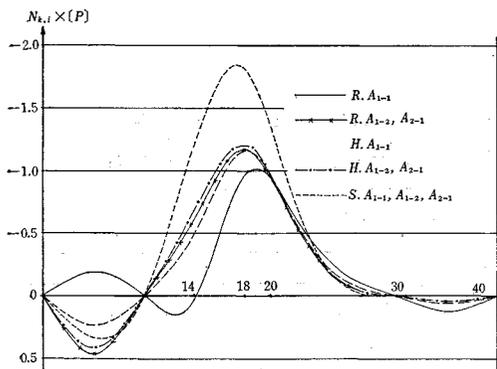


図-26 主桁の格点 14~18 の軸力影響線 (A_{1,2}-Type)

トにおよぼすケーブルの支持形式の影響は、RADIAL-Type において著しい。前述のように、ケーブルを滑動支持にしたために起こる第 3, 4 ケーブル張力の減少が主桁の曲げモーメントを増大させて、下段ケーブルの主桁支持点 (格点番号 5, 14) 付近では正負の値とも 2~3 倍程度増加している (図-13)。ここで注意すべき現象は、全ケーブルを固定支持した場合に絶対最大・最小曲げモーメントが生じた格点 10 および 20 では曲げモーメントはほとんど変化していないことである。一方、

HARP および STAR-Type では、ケーブルを滑動支持にしてもケーブル張力はわずかしき変化しないことから、主桁の曲げモーメントはわずかに増大するだけで、ケーブルの支持形式による影響はほとんど現われない (図-14, 15)。

つぎに、上・下段のいずれのケーブルを滑動支持にしたほうが有利かといえば、A_{3,4}-Type について考えると、RADIAL, HARP-Type とともに上段ケーブルを滑動支持にするほうがよい (図-29 参照)。また、全ケーブルを滑動支持にした場合は下段ケーブルのみを滑動支持にした場合とほとんど差が現われない。とくに STAR-Type では、4 形式とも曲げモーメントの影響値は一致する。以上のことは、B'_{1,2}-Type についても大体同じ傾向である。

全載等分布荷重に対しては、ケーブルの張り方に関係なく支持形式の影響がほとんど現われないことは着目すべき特性である (図-16)。

① 主桁のたわみ δ_k : 主桁のたわみにおよぼすケーブルの支持形式の影響は曲げモーメントに関することと同じことが言える。ここで注意すべきことは、RADIAL-Type においてケーブルを滑動支持にすると、下段ケーブルの主桁支持点で大きな浮き上がり起きることであり、斜張橋の弾性挙動は HARP-Type の挙動に近づいて、主桁の変形量はそれより大きくなる (図-17; 53)。すなわち、A₂₋₁-Type では塔のロッキングが大きくなり、A₁₋₃ および B'₂₋₁-Type でも塔の水平変位が増大して下段ケーブルの主桁を支持する効果が弱くなる。同様に、A₁₋₂, A₃₋₄ および B'₁₋₂-Type では、塔の変位はそれほど増大しないが、下段ケーブルが塔と完全に結合されていないために、やはり主桁を支持する力が減退する。

全載等分布荷重が作用する場合のケーブルの支持形式による影響は、主桁のたわみに関しても、ごくわずかである (図-18)。

(2) 幾何学的形状による特性

③ ケーブルの張り方による影響

図-2 に示した 3 種類のケーブルの張り方は、上段ケーブルはいずれも同じ張り方であり、下段ケーブルの張り方が異なるものである。塔基部の支持形式による影響は塔の曲げモーメントと変形量以外には現われないので、ここでも主として A_{1,2}-Type について考察する。

④ ケーブル張力とその鉛直成分 X_j, V_j (図-27, 28) : 第 1, 2 ケーブル張力の鉛直成分には、R.A₁₋₁-Type 以外ではケーブルの張り方による影響は大して認められない (図-19)。しかし、第 3, 4 ケーブルではその影響は大きく、下段ケーブルは傾斜角が最も大きい

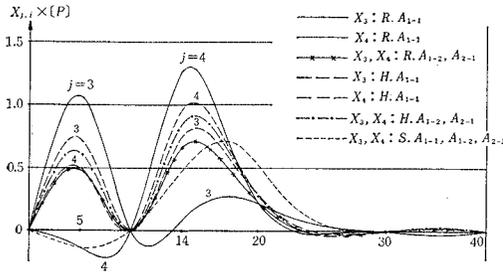


図-27 第 3,4 ケーブル張力の影響線 (A_{1,2}-Type)

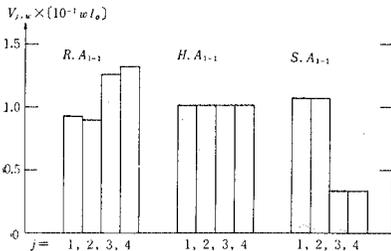


図-28 全載等分布荷重によるケーブル張力の鉛直成分 (A₁₋₁-Type)

RADIAL-Type で一番有効に働き、傾斜角の最も小さい STAR-Type では主桁を支持する役割が十分に発揮されていないことがわかる (図-20)。ところが、下段ケーブル張力はいずれの形式でもその鉛直成分ほど差は現われない (図-27)。また、第 1, 2 ケーブル張力の影響は図-19 の縦座標を $\sin \alpha_j$ 倍して得られることから、上段ケーブルにもケーブルの張り方によらずほぼ同じ大きさの張力が作用する。

全載等分布荷重が作用した場合の影響は、やはり上段ケーブルよりも下段ケーブルにおいて大きくて、RADIAL-Type における値が一番大きい (図-28)。HARP-Type では 4 本のケーブル張力の値は同じであるが、A₃₋₃-Type でははわずかに異なった値を示す。

⑤ 塔基部の曲げモーメント M_t : A_{1,2}-Type では、RADIAL-Type と STAR-Type とでは、塔には曲げモーメントが作用しない。A_{3,4}-Type と B'_{1,2}-Type ではケーブルの支持形式を決めないことにはどの張り方が一番よいとは簡単に言えないが、一般的に A_{3,4}-Type では RADIAL-Type が最も小さくて HARP-Type で最も大きい曲げモーメントが塔基部に作用する (図-6, 7, 8)。B'_{1,2}-Type でもやはり RADIAL-Type が一番小さく、ついで HARP-Type で STAR-Type に一番大きな曲げモーメントが生ずる。

全載等分布荷重に対しては、A_{3,4}-Type では RADIAL-Type の値は HARP および STAR-Type の値の約半分であるが、下段ケーブルのみを滑动支持にした A₃₋₄-Type においては、3 形式ともほぼ同じ値になって

ケーブルの張り方による影響は少なくなる (図-9)。B'_{1,2}-Type では STAR-Type において一番大きな曲げモーメントが作用し、他の 2 形式ではいずれも小さな値を示す。

⑥ 塔の軸力 N_t : 塔基部の軸力については、第 3, 4 ケーブル張力の鉛直成分が一番小さい STAR-Type が最小であり、RADIAL と HARP-Type ではその差はわずかである (図-23)。全載等分布荷重に対する塔基部の軸力は、STAR-Type では他の 2 形式にくらべて約 30%ほど減少する。

⑦ 主桁の軸力 N_k : STAR-Type では格点番号 0~18 の間で主桁の軸力は一定であり、3 形式のうちで最大の値を示している (図-24, 25, 26)。また、RADIAL と HARP-Type との比較では、格点番号 5~18 の間で RADIAL-Type の方が小さく、とくに全ケーブルを固定支持にした場合 (R.A₁₋₁) には主桁の軸力は最も減少する。

⑧ 主桁の曲げモーメント M_k (図-29): 主桁の曲げモーメントは全ケーブルを固定支持にした場合、RADIAL-Type が、最も小さく、HARP-Type がこれについて STAR-Type において最大になる。滑动支持されたケーブルを有する場合には、最大曲げモーメントに関しては RADIAL-Type の方が、最小曲げモーメントに関しては HARP-Type の方が有利である。また STAR-Type は、そのケーブルの主桁支持点に不動点を有する 5 径間連続桁によく似ており、とくに端径間では近い値を示す (図-15, 16)。

全載等分布荷重についても STAR-Type が最も不利であり、RADIAL と HARP-Type については中間支点付近では RADIAL-Type が、他の部分では HARP-Type の方がやや有利であると思われる (図-16)。

⑨ 主桁のたわみ δ_k : 全ケーブル固定支持の場合は、RADIAL-Type が他の 2 形式にくらべてかなり小さな値を示すが、ケーブルが滑动支持されると RADIAL と

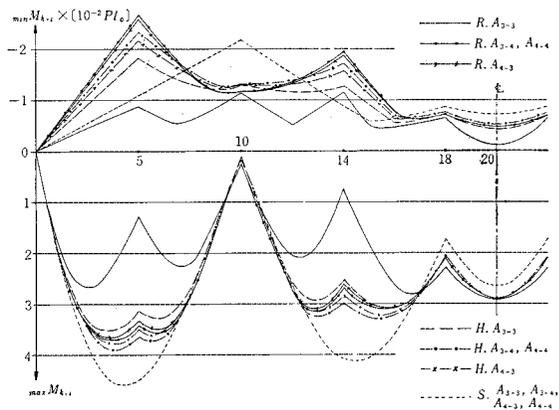


図-29 主桁の最大・最小曲げモーメント図 (A_{3,4}-Type)

HARP-Type とでは大した差は現われない (図-17)。また、全ケーブルが固定支持されていても HARP-Type でのたわみが大きいのは、中間部における塔の変形のために下段ケーブルの取付点が動き、ケーブルが滑動支持されたのと同じ結果になって下段ケーブルの主桁支持効果が減少するためである。

④ ケーブルの主桁支持位置による影響

各塔に属する4本のケーブルを塔に関して対称形に配置した P-0 の場合を標準形式として、ケーブルの主桁支持位置による影響を P-0 の場合と比較して調べた。

一般的に言えることは、一番端のケーブルは不動点に定着するのがよく、主桁上に定着させるときわめて不利になる。また、中央径間を支持するケーブルの主桁支持位置は、P-0 よりも RADIAL および HARP-Type ではやや中央点側にずらした P-1 が、STAR-Type でも逆に中間支点側にずらした P-1 の場合がよい。

本項では、 $A_{3,4}$ -Type について記述するが、他の基本形式についても同じ傾向を示した。

⑤ ケーブル張力とその鉛直成分 X_j, V_j (図-30) : ケーブルの主桁支持位置の変化による影響が最も大きく現われるのは RADIAL-Type の第1ケーブルであり、その張力の鉛直成分を示した図-30 からわかるように、ケーブルの支持点を端支点上から主桁上に移動させたことによって急激に増加している。一方、端支点上で

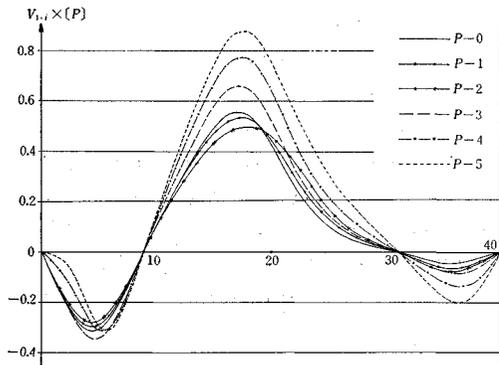


図-30 第1ケーブル張力の鉛直成分影響線 ($R.A_{3-3}$)

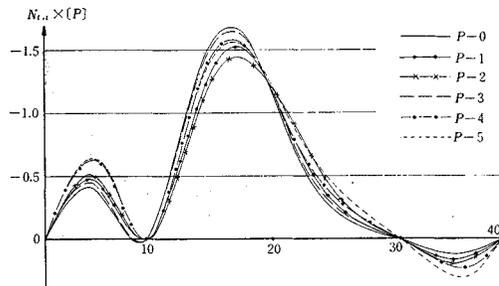


図-31 第1塔基部の軸力影響線 ($R.A_{3-3}$)

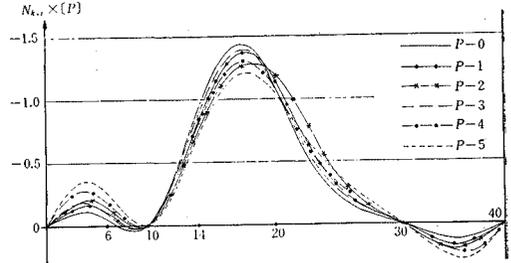


図-32 主桁の格点 6~14 の軸力影響線 ($R.A_{3-3}$)

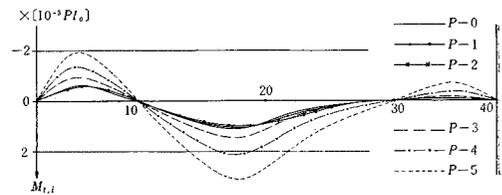


図-33 第1塔基部の曲げモーメント影響線 ($R.A_{3-3}$)

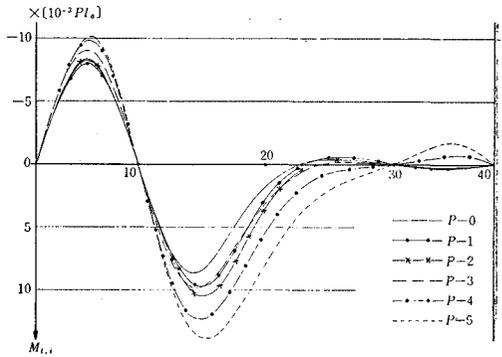


図-34 第1塔基部の曲げモーメント影響線 ($H.A_{3-3}$)

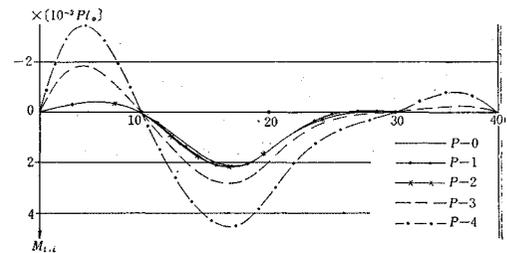
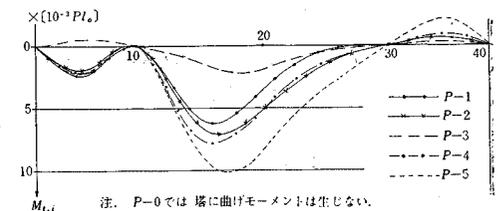


図-35 第1塔基部の曲げモーメント影響線 ($S.A_{3-3}$)



注. P-0では塔に曲げモーメントは生じない。

図-36 第1塔基部の曲げモーメント影響線 ($R.A_{4-4}$)

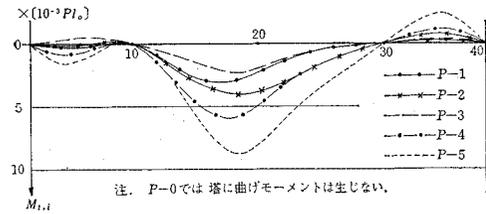


図-37 第1塔基部の曲げモーメント影響線 (H.A₃₋₄)

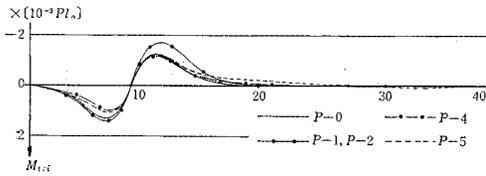


図-38 第1塔基部の曲げモーメント影響線 (R.B'1-1)

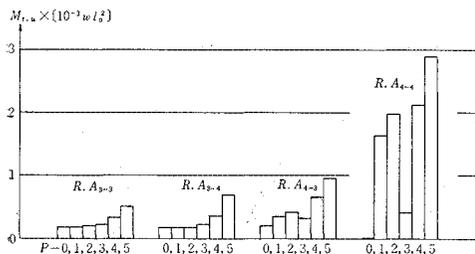


図-39 全載等分布荷重による塔基部の曲げモーメント (R.A₃₋₄-Type)

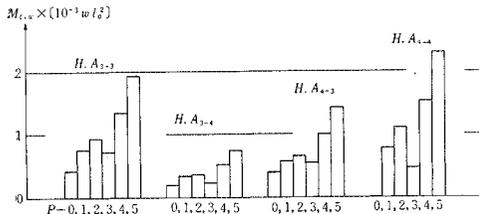


図-40 全載等分布荷重による塔基部の曲げモーメント (H.A₃₋₄-Type)

ブルを定着させた P-0, 1, 2 の場合には大した差は現われないが、第2ケーブルにおいては P-1, 2 ではかなり減少する。第2ケーブルに生ずる最大張力は P 0 の場合が最も大きくて、第3,4ケーブルでは支持位置の影響は大して現われない。

① 塔と主桁の軸力 N_t , N_k (図-31, 32) : 塔および主桁の軸力におよぼす影響はそれほど現われなかった。

② 塔基部の曲げモーメント M_t (図-33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40) : 塔基部に生ずる曲げモーメントは、ケーブルを塔に関して対称形に張った場合に一番小さくなる。とくに、全ケーブルを滑動支持にした場合には、P-0 では塔に曲げモーメントは生じない (図-36, 37)。

まず集中荷重に対しては、全ケーブルを固定支持にした A₃₋₃-Type ではケーブルを非対称形に張っても端ケーブルを不動点に定着しておけば対称形に張った場合と差はないが、主桁上に定着すると曲げモーメントは増大する。この傾向は RADIAL-Type と STAR-Type においてとくに著しい (図-33, 35)。B'1,2-Type では、塔が主桁とともに回転するために、支持位置の影響は A_{3,4}-Type ほど現われないが (図-38)、全ケーブルを滑動支持にした B'2-2-Type では、A₄₋₄-Type とほとんど同じ値を示した。

全載等分布荷重に対しては、RADIAL-Type では全ケーブルを滑動支持にした A₄₋₄-Type においてとくに顕著に支持位置の影響が現われる (図-39)。HARP-Type では、A₄₋₄-Type とともに全ケーブルを固定支持にした場合にも大きな影響が現われ、下段ケーブルのみを滑動支持にした A₃₋₄-Type では比較的影響は少ない (図-40)。また、P-3 の場合には上記のいずれの形式に対しても塔基部の曲げモーメントが小さくなるのは、一つの特徴である。STAR-Type では全般的にケーブルの支持位置による影響は少なく、その中でもやはり S.A₄₋₄-Type において一番大きな影響が現われるが、その値

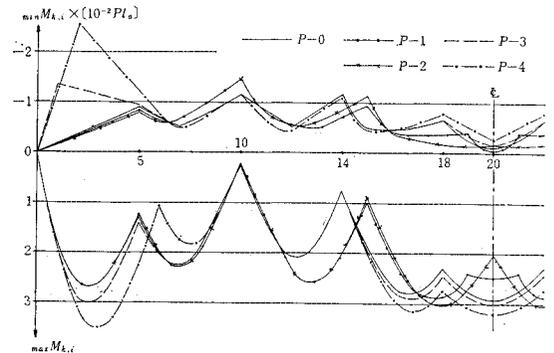


図-41 主桁の最大・最小曲げモーメント (R.A₃₋₂)

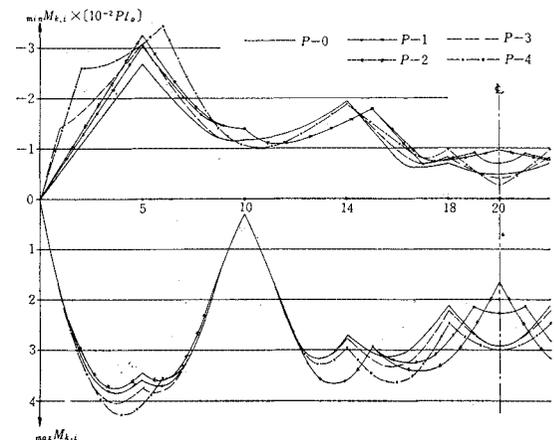


図-42 主桁の最大・最小曲げモーメント図 (R.A₃₋₄)

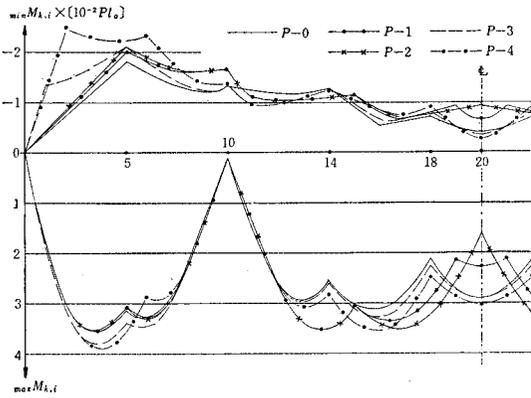


図-43 主桁の最大・最小曲げモーメント図 (H.A₃₋₃)

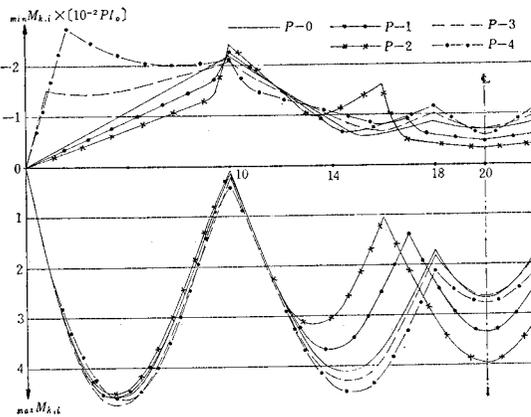


図-44 主桁の最大・最小曲げモーメント図 (S.A₃₋₃)

は R.A₄₋₄ または H.A₄₋₄-Type の半分以下になる。また S.A₃₋₄-Type は R.A₃₋₄-Type とほぼ同じ値を示す。

④ 主桁の曲げモーメント M_k (図-41, 42, 43, 44, 45, 46, 47) : 端ケーブルを主桁上に定着した P-3, 4, 5 の場合には、その主桁支持点に生ずる負の曲げモーメントが支持点の移動とともに急激に増加することから、きわめて不利になる。ここで興味のある現象は、端ケーブルの支持点に生ずる負の曲げモーメントがケーブルの張り方、すなわち、RADIAL, HARP, STAR-Type に関係なくほとんど同じ値を示していることである。

集中荷重による主桁の最大・最小曲げモーメントは、まず RADIAL-Type については P-0 か P-1 の場合が一番よいようであるが (図-41)、滑動支持されたケーブルを有する場合には P-0 の方がモーメントの値は小さい (図-42)。HARP-Type については P-0 が良好であり、その傾向は RADIAL-Type においてケーブルを滑動支持にした場合に似ている (図-43)。STAR-Type では、ケーブルを塔に関して対称形に張るよりも少し中間支点寄りにずらした P-1 の場合の方がモーメントは減少する (図-44)。

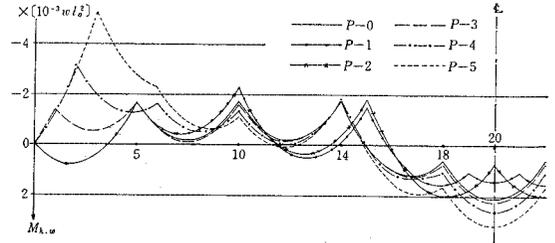


図-45 全載等分布荷重による主桁の曲げモーメント図 (R.A₃₋₃)

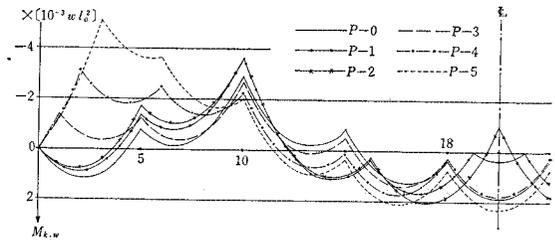


図-46 全載等分布荷重による主桁の曲げモーメント図 (H.A₃₋₃)

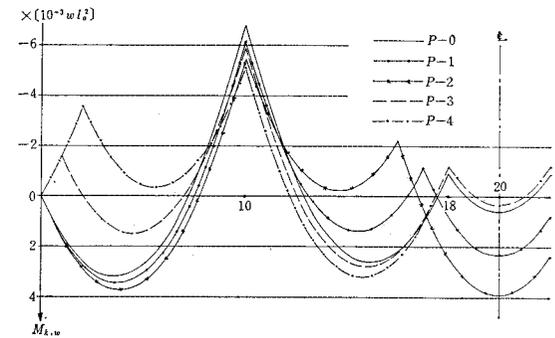


図-47 全載等分布荷重による主桁の曲げモーメント図 (S.A₃₋₃)

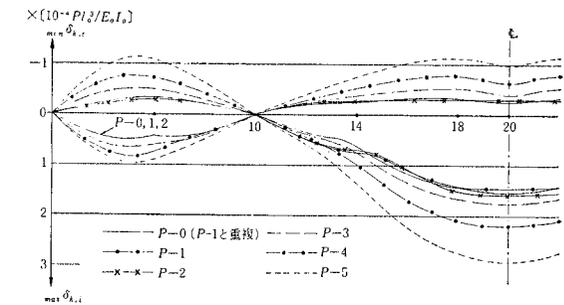


図-48 主桁の最大・最小たわみ図 (R.A₃₋₃)

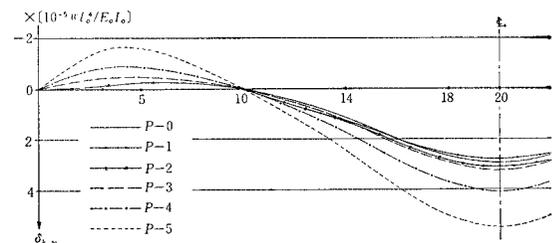


図-49 全載等分布荷重による主桁のたわみ図 (R.A₃₋₃)

全載等分布荷重による曲げモーメントは、RADIAL-Type については P-1 が、HARP と STAR-Type については P-0 または P-1 がよいと思われる (図-45, 46, 47)。

◎ 主桁のたわみ δ_k (図-48, 49) : 集中荷重と全載等分布荷重による主桁のたわみは、P-0, P-1, P-2 では大差なく、P-3, P-4, P-5 の場合に支持位置による影響が現われて不利になる。この現象は、端ケーブルが主桁上の可動点に定着されたために塔を支持する作用が弱められたのが原因であると考えられる。

4. 構造特性に関する考察

前節においては、部材の剛性を一定にした斜張橋についての数値計算の結果から斜張橋の静力学的構造特性を調べたわけであるが、本節ではさらに新しい資料を加えてより総括的にその特性を考察してみる。

まず塔の支持形式による影響であるが、本文中で調べた $A_{1,2}$, $A_{3,4}$, $B'_{1,2}$ -Type の塔基部の支持状態は、ヒンジ支持、固定支持および主桁の剛性による弾性支持の3形式である。したがって、前節の項目 a) でも述べたとおり、これらの支持形式による影響には塔の曲げ剛性が密接に関係するのは当然のことであり、塔の剛性が大きいほどその影響も大きいと考えられる。塔の曲げ剛性に対する主桁の曲げ剛性の比は、通常の斜張橋では1から10の間の値であるが、数値計算で用いた剛性比の値 $E_0 I_0 / E_1 J_1$

$=10$ に対してはすでに説明したように、塔の支持形式による影響はあまり現われなかった。そこで、この影響が塔の曲げ剛性とどの程度関係しているのかを調べるために、塔の曲げ剛性を無限大にした場合の主桁の最大・最小曲げモーメント図を図-50, 51に示した。塔の曲げ剛性が無限大である $B'_{1,2}$ -Type は中間支点上付近の値を除けば、理論上塔の曲げ剛性の影響を受けない $R.A_{1,2}$ -Type によく一致している (図-50)。また、 $A_{3,4}$ -Type は逆に中間支点上付近では $A_{1,2}$ -Type とほとんど同じ値を示し、他の部分でも塔の曲げ剛性を無限大にした割にはそれほど値は変わらない。HARP-Type の場合も曲線群の相対的な関係は RADIAL-Type と同じであり、STAR-Type では $A_{1,2}$ -Type と $A_{3,4}$ -Type とがよく似た値を示して、 $B'_{1,2}$ -Type のみ中間支点を中心にして他の2形式とはかなり異なった形をしている (図-51)。ここで、ケーブルをP-0の形状に張った $S.A_{1,2}$ -Type では、塔の曲げ剛性の影響を受けないことが理論上証明できる。一方、塔の曲げ剛性を小さくすると塔の支持形式による影響は少なくなり、無限小にした極限状態を考えると塔基部の差異による影響はなくなって、理論的に3形式は同じ弾性挙動を示す。実際には、塔の曲げ剛性がある有限値のときに3形式は数值的に一致するが、詳細なことについては本文中では省略する。結局、以上の両極限状態における影響から判断して、塔の支持形式は主桁の曲げモーメントに対しては大して影響しないといえる。さらに付け加えていえば、ケーブルを塔に関して対称形に張り、かつ全ケーブルを滑動支持にした $A_{1,2}$ -Type および $B'_{1,2}$ -Type は塔の曲げ剛性の影響を受けなくなり、塔の変形を除けば $A_{1,2}$ (または $A_{2,1}$)-Type と全く同じ構造形式となる。また一般的に、塔基部の影響は RADIAL-Type において最も少なく、全ケーブルを固定支持にした HARP-Type において一番よく現われ、STAR-Type では $A_{1,2}$ -Type と $A_{3,4}$ -Type との差は少なく $B'_{1,2}$ -Type のみ少し変わった傾向が認められる。

つぎに、塔の曲げ剛性と関連のあるケーブルの張り方による影響を考察してみる。RADIAL-Type と HARP-Type との比較では、研究項目③で調べたように塔と主桁とに生ずる応力は HARP-Type の方が大きくて、とくに下段ケーブル支持点付近の主桁の曲げモーメントには著しい差が認められる。これは、下段ケーブルの取付点における塔の変形がかなり影響しているためと思われるので、塔の曲げ剛性を無限大にした場合を調べてみると、図-52 にみられるように主桁の曲げモーメントはかなり減少するが、それでも RADIAL-Type にはおよばない。この差は下段ケーブルの張り方によるものであって、ケーブルの剛性はむしろ HARP-Type の方が

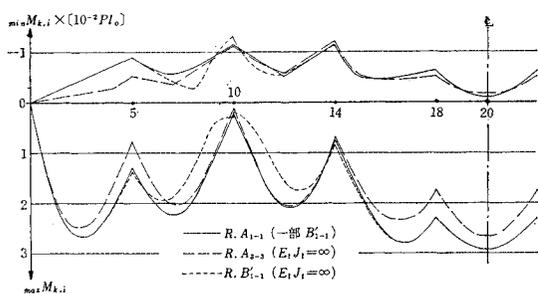


図-50 主桁の最大・最小曲げモーメント図 (RADIAL-Type)

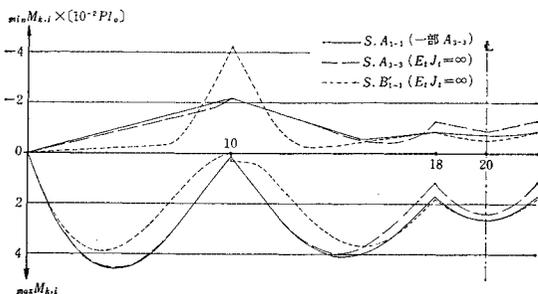


図-51 主桁の最大・最小曲げモーメント図 (STAR-Type)

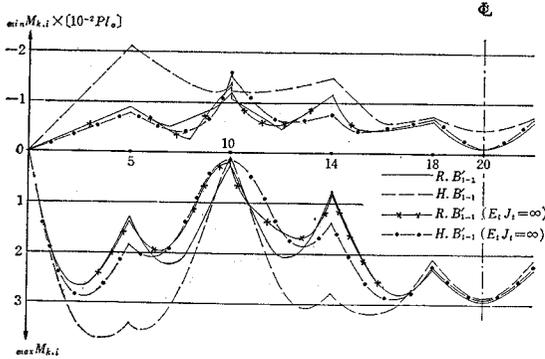


図-52 主桁の最大・最小曲げモーメント図 (B'_{1-1} -Type)

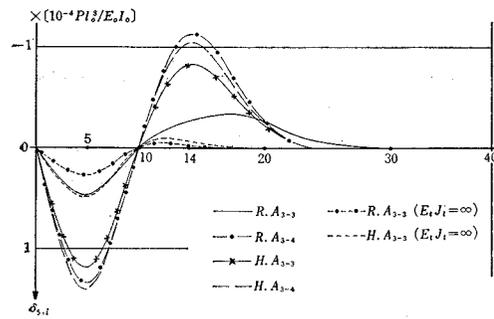


図-53 主桁の格点5のたわみ影響線 ($A_{3,4}$ -Type)

大きい、ケーブルの傾斜角が小さいことが根本的な原因であると考えられる。この理由から、下段ケーブルの傾斜角が一番小さく、かつ剛性が一番低い STAR-Type は最も不利になるのは当然であり、さらにケーブルの主桁支持点の数が少ないことも大きな原因である。

研究項目②で調べたケーブルの支持形式による影響を弾性挙動の立場から考察してみる。図-53 に示した主桁の格点5のたわみ影響線から、ケーブルを1本でも滑動支持にするとたわみは増大して主桁は波打つような変形をすることがわかる。とくに、下段ケーブルの塔に関して反対側の主桁支持点(格点14)に荷重が載荷されると格点5に大きな浮き上がりが生じ、ケーブルを滑動支持にした RADIAL-Type において一番著しい。この現象は 図-17 からでも判読できるが、斜張橋がこのような弾性挙動を示す理由は、滑動支持された下段ケーブルでは塔との拘束条件がゆるめられて、塔上で自由に滑動できるようになったために主桁を支持する機能が低下し、その結果主桁は上下動しやすくなったためと考えられる。全ケーブルが固定支持された HARP-Type についてもこれと同じような説明ができる。すなわち、前述のように塔の中間部における水平変位により下段ケーブルに対する塔との結合条件が弱められて、あたかも滑動支持されたかのような挙動を示すためである。したがって、HARP-Type ではケーブルを滑動支持にしてもそ

の影響は大して現われないし、STAR-Type に対しても同じことが考えられる。この現象を裏付ける証拠として塔の曲げ剛性を無限大にして塔が曲げ変形を起さぬようにすると、主桁の浮き上りはほとんどなくなり、曲げモーメントもかなり減少する(図-52, 53)。今度は逆に上段ケーブルを滑動支持にし、下段ケーブルを固定支持にした場合には、上段ケーブルは塔を支える力を失って塔全体がロッキングするように大きく変形し、そのために下段ケーブルの主桁を支持する効果が減殺されて斜張橋全体の剛性は低下し、やはり主桁は大きく上下動するようになる。

本文では、斜張橋の有するケーブルの数を一定にして構造特性を調べてきたが、ケーブルの数を増しても以上の構造形式による特性は本質的には変わらない。斜張橋の弾性挙動はケーブルの剛性によりきわめて大きく左右されるが、数値解析で用いた部材の剛性は実際の斜張橋に用いられる値に近く、またこの剛性に対して、RADIAL-Type ではケーブルの主桁支持点に剛支点を設けた9径間連続桁にかなり似かよった挙動を示している。したがって、ケーブルの数を増すことはそれだけ主桁を支える中間支持点の数が増えることになって、斜張橋は多径間連続桁としての弾性挙動に近づき静力学的には有利になる。HARP-Type でも同じことがいえるが、ケーブルの数を増すこととともに塔の曲げ剛性を高めることも必要となる。STAR-Type では、ケーブルの数を増しても主桁を支える点の数は増えないことから、他の2形式ほど力学的な利点は望められない。

以上考察してきたことから総合的に判断して、静力学的に有利な斜張橋の構造形式を推定してみる。ただし、この力学上合理的と考えられる構造形式はあくまでも本文の数値計算で扱った例を主としており、かなり一般性はあると考えられるが、本文の例とは著しく形の異なった斜張橋に対しては適当な考慮を払う必要があると思う。

① 静力学的に最も有利な構造形式は、全ケーブルを固定支持にした RADIAL $A_{1,1}$ -Type であるといえる。この形式では、理論的には塔に曲げモーメントは作用せず、また下部構造の負担応力も少なくなるからである。

② 美観的な立場から HARP-Type または STAR-Type を用いる場合にも、 $A_{1,2}$ -Type がすぐれている。もし、塔の支持形式が異なる他の形式を用いるならば、塔の曲げ剛性を本文で用いた値よりも大きくし、HARP-Type では B'_{1-1} -Type を、STAR-Type では下段ケーブルを滑動支持にした $A_{3,4}$ -Type を用いて塔に作用する曲げモーメントを減少させるのが賢明であろう。さらに下段ケーブルの傾斜角は、本文で用いた値よりも

大きくして下段ケーブルが有効に作用するようにすべきである。

③ ケーブルの主桁支持位置は、まず各塔に属するケーブルのうち少なくとも1本は塔を支える機能を十分に発揮できるようにするために、端ケーブルは必ず不動点に定着すべきである。さもなければ、残りのケーブルの主桁を支持する効果が著しく減退する。つぎに、端径間を支持するケーブルは径間中央点よりやや端支点側に寄せるほうがよい。中央径間を支持ケーブルは、RADIALおよびHARP-Typeでは主桁上に等間隔に配置するよりもいくぶん中央点寄りにずらすほうが望ましい。STAR-Typeでは中間支点寄りにずらし、主桁を約7:6:7の比に分割した点で支持するのがよいようである。しかし、ケーブルの剛性を本文で用いた値より大きくするならば、中央径間ではいずれの形式でも主桁を等間隔で支持するのがよいと考えられる。

④ ケーブルの数は、力学的には多いほうがよい。とくにRADIAL-Typeでは一番有効に作用するが、HARP-Typeではその効果が十分に発揮できるように塔の曲げ剛性を十分に大きくする必要がある。STAR-Typeでは、前述のようにケーブルの数を増すことよりもそれだけ断面積の太いケーブルを用いるほうが、施工上の利点があると考えられる。

5. 結 語

本研究では、200形式を越える斜張橋についての静力学的な構造特性をかなり広範な立場から調べてみて、静

力学的に最も望ましいと考えられる斜張橋の構造形式を推論してみた。しかし、実際の斜張橋では本研究の対象とした形式とはかなり構造を異にした形式のものも存在するが、本文の資料が斜張橋の構造形式を選定するのに役立つことと思う。基本系を異にした斜張橋の特性は後日にゆずることとして、各部材の剛性による弾性特性は本文の構造特性とも密接な関係があるので引き続き明らかにしたい。

数値計算に用いた電子計算機は、NEAC 2200-M 500(大阪大学大型計算機センター)とFACOM 230-60(京都大学大型計算機センター)である。

終りに、この膨大な資料の整理と作図にと多大の労力をわずらわした大学院学生 井本賀章君に厚く謝意を表す次第である。

参 考 文 献

- 1) 前田・林：任意な形状の斜張橋の解析，土木学会論文集，第160号，昭和43年12月
- 2) 岡内・安藤：斜張橋の特性に関する二、三の考察，第22回年次学術講演会講演概要，昭和42年5月
- 3) 渡辺・多田・宮本：斜張橋の構造特性について，土木学会北海道支部論文集，第24号，昭和43年2月
同上：斜張橋の構造特性について(第2報)，第23回年次学術講演会講演概要，昭和43年10月
- 4) 長谷川・成岡：各種構造形式の斜張橋の曲げモーメント，たわみに関する研究，土木学会誌，Vol. 53, No. 9, 昭和43年9月
- 5) たとえば，Adolf Feige: The Evolution of German Cable-Stayed Bridges: An Overall Survey, Acier Stahl Steel, No. 12, (1966), p. 523

(1969.7.25・受付)