

3支点集材架線についての研究(II)

静的状態から類推される操作上の問題点と可能性

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
著者名	神崎,康一 酒井,徹朗
発行元	日本林學會
巻/号	54巻5号
巻号補足	
掲載ページ	p. 143-149
発行年月	1972年5月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



論 文

3 支点集材架線についての研究 (II)

(2) 静的状態から類推される操作上の問題点と可能性

神崎 康一*・酒井 徹朗*

Studies on the Cable Crane Hung at three Supports (II)

(2) Steering Problems and Possibilities Guessed from the Computations on Static State

Kouichi KANZAKI* and Tetsuro SAKAI*

Summary: Supposing one tension at a support was kept constant and tensions at the other two supports were varied in statically balanced state of a cable crane with three supports, the locus of the hoist point was computed. Then as shown in Fig. 1 and 2, the locus made a plane which was fairly flat and had high positions.

And when tensions at two supports were set constant, the locus of the hoist drew a curved line on the locus plane. (Fig. 5)

The facts tell us that if we had in our hand some mechanism which keeps the tension of wire rope at each support constant, then the steering of the cable crane with three supports would be very easy.

We have studied about domain of actual stop of hoist point and its diversion from theoretically computed balanced point by a set of predetermined tensions. As the result, we have conjectured that the error would be fairly large and that steering by setting three supports would not be satisfactorily made by program running, but the same characteristic would be rather favorable for manual steering.

From the computation about a model case, we have guessed that the mechanism keeping constant tension must have a maximum running speed of wire rope 1.5 to 2.0 times faster than the ordinary steering wire speed.

要 旨: 3 支点架線の静的つり合い状態を仮定して, 1 支点で張力を一定に保ち, 他の 2 支点での張力を任意に変えた場合の荷重点の軌跡 (図-1, 図-2) を求めると, 設定張力が十分大きければ, かなり平坦で高い軌跡曲面が得られる。

さらに, 2 支点をそれぞれ一定張力に保つようにして, 他の 1 支点で索を操作すると, 図-5 のような軌跡曲線が得られる。

したがって, この 3 支点架線の操作は, 各支点で張力を一定に保つような速応性のよい定張力装置を作ることができれば, 大変容易なものとなるであろうと考えられる。

その他に, 静的状態から推測できることとして, 3 支点の張力をそれぞれ設定したときの理論的荷重点位置からの実際に起こるであろう荷重点位置の誤差について検討した。その結果, 索機構のもつ伝達精度いかんによってはかなり大きな位置誤差を生ずることが予想される。この誤差は, プログラムランニングには不都合であるが, 手動の場合には好都合である。

また, 表-1 の荷重点の移動に伴う各索の長さの変化分を計算した結果から, 定張力装置の索の送り速度は, 操索速度の 1.5~2.0 倍の速度を出せるようにする必要があると推論された。

1. はじめに

3 支点架線の諸元については, すでに第 I 報において静的つり合い状態を仮定すれば, 比較的簡単に計算できることを示した。この第 II 報では, 静的つり合い状態を仮定しうる範囲内で, すなわち, 準静的に全く静かに荷重点を動かした場合に得られる荷重点の軌跡と支点にお

ける張力の変化を調べ, 3 支点架線の操作上の問題およびその可能性について考察する。

2. 1 支点の索張力を一定に保ったときの荷重点の軌跡面

3 つの支点のうち, いずれか 1 つの支点における索張力を一定に保つようにし, 他の 2 支点の張力を任意に変

* 京都大学農学部 Fac. of Agr., Kyoto Univ., Kyoto

化させると、静的つり合い状態における荷重点のつり合い位置が、あるなめらかな曲面の軌跡を描くであろうことが予想される。

もし、この軌跡曲面が十分に平たんで、十分な高さをもつものであり、任意の1支点において索張力を一定に保つような装置（たとえばバランスウェイト）を考えれば、他の2支点の張力を適当に操作するか、または、索の長さを操作（したがって索の巻取ドラムの操作）することによって、その軌跡曲面上の任意の点に、荷重点を移動させることができる。このような定張力保持装置を作ることによって、3支点架線の操縦は大変容易なものになる。

さて、荷重が単位索重の1,000倍のとき、1つの支点で索張力を一定にし、他の2支点で索長または張力を任意に変えたときの荷重点の軌跡曲面を求めた例として、図-1を示す。この軌跡面は、右端の支点で張力を一定にたもった場合で、上から、固定された張力の値が単位索重の3,200倍、2,600倍、2,000倍である場合のものである。なお、3支点の座標は、第I報のモデルと同様

であるが、順を次のように変えている。

	X	Y	Z
第1支点	42.3	10.5	40.0
第2支点	158.0	160.0	51.7
第3支点	9.4	180.7	57.4

張力を固定したのは、この第3支点である。

この軌跡曲面が十分に平たんであり、十分な高さをもっているかどうかの判定は、地形との関係でなされる。すなわち、地面（障害物）に対して軌跡面が十分な高さを保持しうるかどうかによる。

この図-1は、一定荷重のとき、保持される張力の大きさが大きいほど軌跡面は高く平たんであることを示している。また、荷重が変化したときの関係を調べるために、一定張力に保持される支点張力の水準を3,200とし、荷重を500, 1,000, 1,500と変えたときの軌跡面を求めると図-2のようになる。この場合も右端の支点で索張力が一定に保たれた場合である。荷重が軽いほど当然軌跡面は高く、かつ平たんなものとなる。

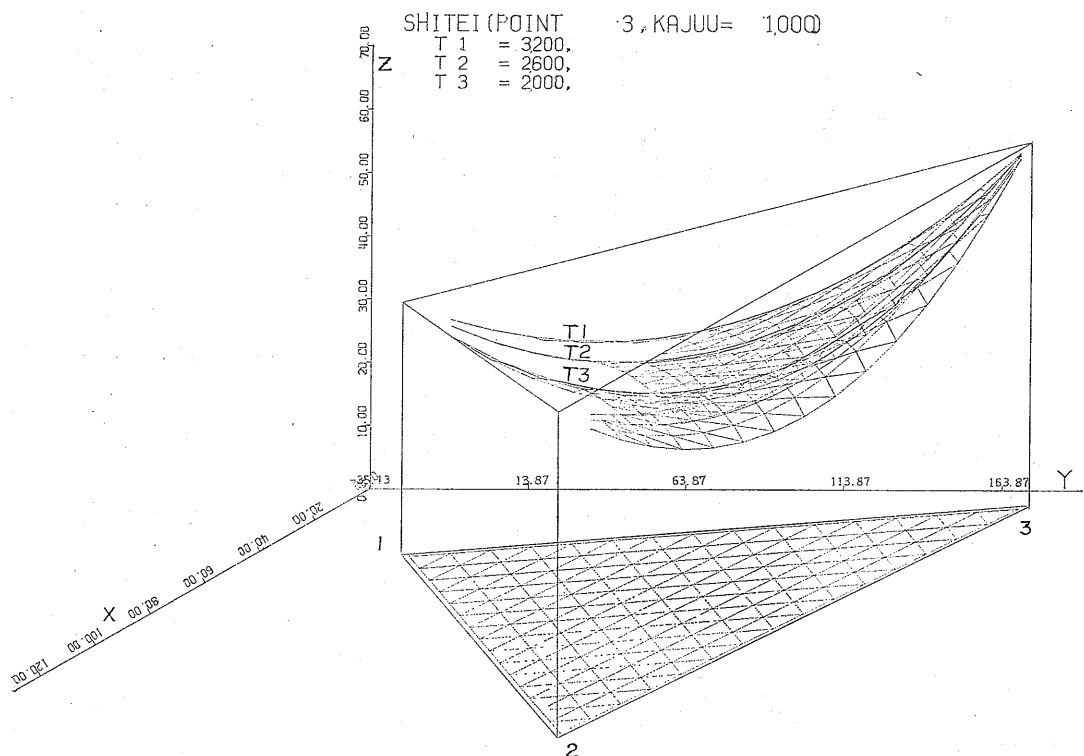


図-1. 荷重点の軌跡面
第3支点で定張力、荷重1,000

Fig. 1. Locus plane

When tension at the 3rd support is kept constant and the weight is 1,000

3. 理論的荷重点と実際に予想される荷重点の位置誤差についての推測

前節で明らかなように、1支点的張力を一定に保つとき、荷重点の軌跡は、あるなめらかな曲面を描く。したがって、3つの支点的それぞれにおいて、張力を任意の一定値に保ったとき、荷重点はある1点においてのみつり合いを保ちうる。すなわち、静止しようと考えられる。3支点的張力を適当に設定することによって、荷重点を任意の位置に自動的に移行させることができるはずである。しかし、摩擦抵抗等によって起こるつり合い誤差や、設定値の誤差の影響によって、そのつり合い位置が大きく変化するものであれば、上述のやり方はむずかしいものになる。このようなことを調べるために図-3に示すような断面において、第1支点が3,200、第2支点が2,600の場合のそれぞれの荷重点軌跡の断面をとると、図-4のようになる。

この図-4から、荷重点の高さが少し違うと張力が大きく変わるが、XY方向の位置の変化に対しては、あま

り張力は敏感ではないことがわかる。これは逆にいうと、設定値のわずかの違いに対して、荷重点は横方向に大きく動くことを示している。特に辺に近いA-A'断面では、荷重点が端から端まで動いても、第1、第2の張力差はあまり生じない。

この種の架線では多くの滑車を使用することになるので、摩擦抵抗も無視できない。したがって、設定された値に対して、実際に荷重点が静止したときの索張力は、必ずしも等しくなく、設定値 $\pm\alpha$ の範囲にあると考えられる。いま仮に、第3支点的張力がA-A'線に荷重点がくるように調節されていて、第1、第2の両支点的設定値がともに2,900に設定されていれば、理論的には、荷重点のつり合い位置は、図-4 A-A'断面の4本の軌跡線で囲まれた範囲のちょうど真中あたりにくるはずであるが、摩擦等によって生ずる誤差範囲が ± 300 あるとすると、4本の軌跡線で囲まれた範囲に入れば直ちに荷重点は止まってしまうことになる。続報において、その詳細について述べる問題であるが、リレーを用いた定張力装置では、リレー特有の自励振動を避けるために、あ

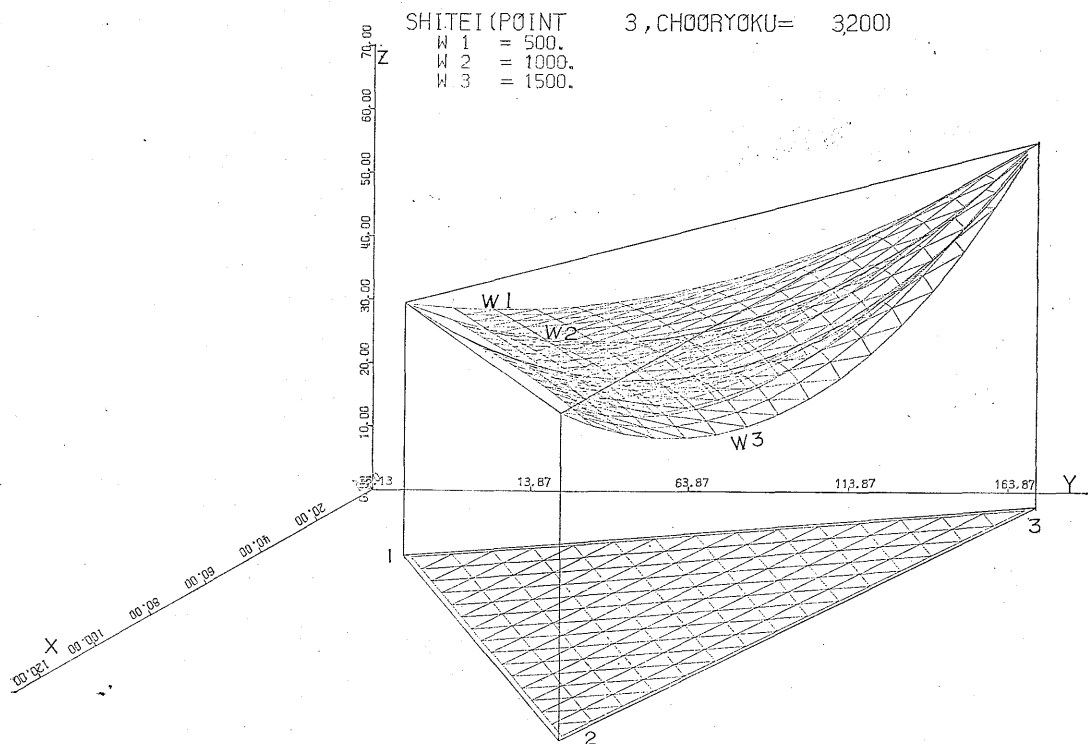


図-2. 荷重点の軌跡面
第3支点で張力一定にして荷重を変えたとき

Fig. 2. Locus plane

When tension at the 3rd support is kept constant and the weight is varied

る一定幅以上の不感帯を設ける必要がある。しかし、このような場合には、設定値に対して、荷重点が止まりうる範囲がかなり広いものになってしまう。

この性質は、設定値を定めて、荷重点をある特定の位

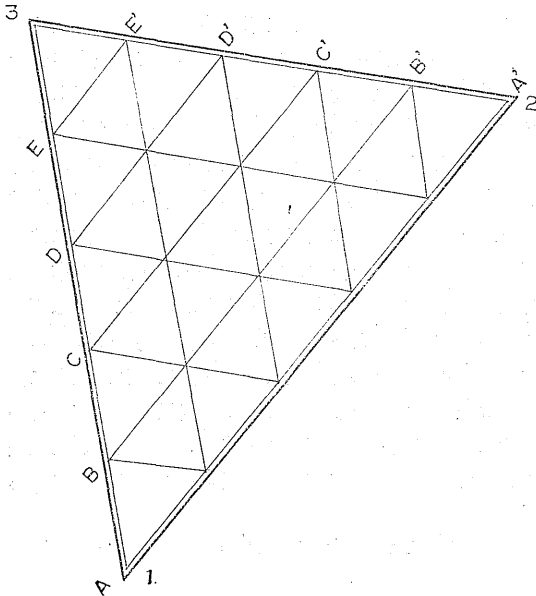


図-3. 断面位置

Fig. 3. Position of profile

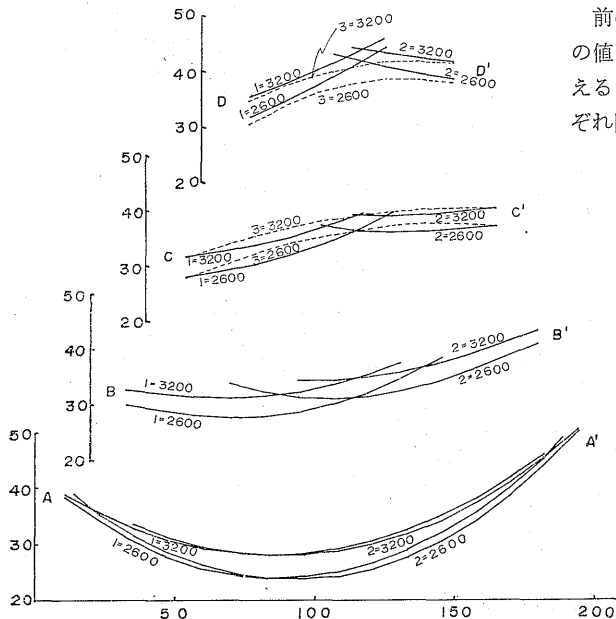


図-4. 軌跡断面

Fig. 4. Profile of locus

置へ移動させようとする場合——プログラム・ランニングのような場合には、はなはだ不都合なものである。

しかし、一方、目で荷重点の動きを追いながら、手で操作をする場合には、逆に大変都合のよい性質だといえる。というのは、上の例で示すと、第2支点で索張力を一定に保つようにして第1支点の索を巻き込むと、荷重点は大体3,200の線の少し上を、その線に沿って第1支点側へ移動するであろうし、逆に巻き出せば、大体2,600の線に沿って第2支点の方へ移動するであろう。さらに、第1支点の操作を止めると、殆んど直ちに停止領域に入って止まることになるからである。したがって非常に単純な操作で荷重点を移動させ、停止させることができることになる。

しかし、これは静的つり合い状態が成立するような場合にいえることで、実用時に予想されるように、索の巻き込み、あるいは送り速度が問題になるような場合、すなわち、定張力の制御の速応性が問題となる場合には、速応性が無限に良い場合でなければ、荷重点の移行軌跡がいくぶん波形になる。したがって、索張力が一時的に過度に大きくなるような危険性も含まれるために、このような各支点での索の張力の制御過程に起こりうる変化の大きさが、危険範囲に入らないくらいの速応性を、定張力装置がもっていなければいけないことになる。

4. 2支点で張力を一定にしたときの軌跡

前の結果から、任意の2支点で索張力をそれぞれ特定の値に保つようにして、他の1点の張力をいろいろに変えるとき、荷重点の軌跡は、2つの支点での張力がそれぞれ固定されたとき得られる軌跡曲面(図-1参照)の交線として得られるはずである。このような交線を求めると、たとえば、図-5のようになる。この図は、荷重が単位索重の1,000倍で、第2、第3(手前の2支点)支点で、索張力を下記の値に保った場合である。設定された索張力は、単位索重の倍数で、次のとおりである。

	第2支点	第3支点
右から1番目	1,878.831	3,200.0
// 2番目	2,816.988	3,200.0
// 3番目	3,200.0	3,100.619
// 4番目	3,200.0	2,633.674
// 5番目	3,200.0	1,676.602

この曲線はいずれも少しデコボコしているが、これは、収れん計算を時間の関係でかなりあらいものになっているためで、本来は非常にめらかなものである。

ここで、2つの支点で張力を一定に保つようにして、他の1支点の巻き取りドラムを操作するというごく単純な操作法が成立することになる。この操作によって、図-5に描かれた軌跡曲線上を移動させることができる。

この図-5も静的つり合いが常に保たれるという仮定で得られたものである。実用時には、いさ少し変わった動きをするものと思われる。たとえば、第1支点で索を巻き込んだり、ゆるめたりしたときに得られる荷重点の移行軌跡は、図-5の静的つり合い軌跡曲線を中心軸として、その上下左右に、荷重点がゆれ動きながら移行する形になるだろうと予想される。その偏差の大きさは、当然、定張力装置の速応性が良ければ良い程、小さくなるはずである。一方、このような制御装置では、制御系に索自体の形の変化による張力修正機構を介在させることになりそうなので、速応性や精度を上げ過ぎると系が不安定なものになりかねない。

さて、この速応性については、この3支点架線では索の引き込みまたは送り速度が問題になるように思われる。というのは、定張力装置で一定値を保つようにされている支点では、他の支点の操作によって起こる外乱、すなわち、実際の索張力の設定値からのはずれ、したが

って、図-5のつり合い位置からのはずれを修正するのに、索の引き込み、または、送りという動作によって行なうことになること、さらに、その修正に必要な送り、または、引き込み長が、荷重点の現在位置およびはずれた方向と速さによって、いろいろな値になると考えられるからである。

現実には、バランスウェイトを用いて定張力をとることは、大変困難であり、殆んど使用できないので、定張力をとるためには、索の巻き取りドラムの速度を制御することになる。ところが、そのときの索速度、または、ドラムの回転速度は、原動機と伝達機構によって定まる最大速度以上にはなりえないので、そのドラムの最高回転速度とか、常用速度といったものをどのくらいにとれば、上述の外乱修正を無理なく行なえるかという問題を生じる。この点を調べるために、図-5の各軌跡曲線について、荷重点の移動に対する各索の長さの変化量と、その操作索（第1支点）の索長変化量に対する比を求めてみた。表-1がそれである。

この計算から、索速度の比は、最高2倍くらいで、1.5倍以上という場合でも、ほんの部分的にしか表われないことがわかる。したがって、定張力の装置を設計するた

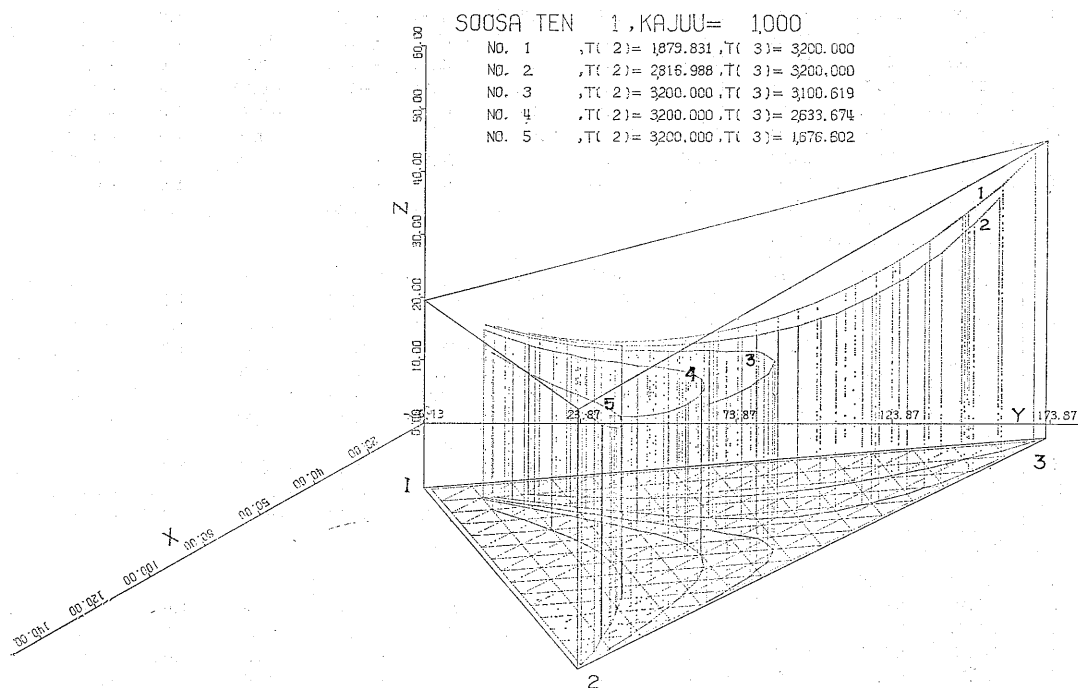


図-5. 荷重点の軌跡

2支点で張力一定の場合

Fig. 5. Locus of hoist

When tensions at two supports are kept constant

表-1. 2 支点張力一定の場合の索長の変化

Table 1. Data of wire rope length when two tensions are kept constant

No.	① Position of hoist			② Length of rope			③ Difference of length			④ Ratio of ③		
	X	Y	Z	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1) Tension at 2nd support=1,879, at 3rd=3,200												
1	11.63	178.73	45.98	171.82	147.66	3.30	—	—	—	—	—	—
2	23.29	166.89	39.17	157.85	134.94	21.25	13.97	12.72	-17.95	1.0	0.91	-1.28
3	32.84	154.36	34.27	144.26	125.54	37.62	13.59	9.40	-16.37	1.0	0.69	-1.20
4	38.32	145.04	31.70	134.62	121.05	48.52	9.64	4.49	-10.90	1.0	0.47	-1.13
5	43.63	131.44	29.08	120.95	118.57	62.73	13.67	2.48	-14.21	1.0	0.18	-1.04
6	47.24	115.29	27.02	104.96	120.36	78.26	15.99	-1.79	-15.53	1.0	-0.11	-0.97
7	48.39	98.64	25.68	88.46	126.65	93.41	16.50	-6.29	-15.15	1.0	-0.38	-0.92
8	48.27	83.83	25.04	73.74	134.64	106.75	14.72	-7.99	-13.34	1.0	-0.54	-0.91
9	47.64	66.62	25.01	56.59	145.57	122.39	17.15	-10.93	-15.64	1.0	-0.64	-0.91
10	46.03	47.07	25.80	37.00	159.88	140.25	19.59	-14.31	-17.86	1.0	-0.73	-0.91
2) Tension at 2nd support=2,817, at 3rd=3,200												
1	47.86	37.61	27.36	27.80	165.30	149.53	—	—	—	—	—	—
2	51.47	55.37	26.56	45.93	150.10	133.84	-18.13	15.20	15.69	1.0	-0.84	-0.87
3	54.22	69.29	26.39	60.10	138.70	121.92	-14.17	11.40	11.92	1.0	-0.80	-0.84
4	57.10	86.72	26.61	77.72	125.62	107.43	-17.62	13.08	14.49	1.0	-0.74	-0.82
5	59.85	104.08	27.38	95.24	113.88	93.90	-17.52	11.74	13.53	1.0	-0.67	-0.77
6	61.02	118.30	28.26	109.44	106.42	83.21	-14.20	7.46	10.69	1.0	-0.43	-0.61
7	61.64	133.90	29.49	124.92	100.58	72.39	-15.48	5.84	10.82	1.0	-0.33	-0.62
8	57.72	150.89	31.25	141.28	101.24	59.03	-16.36	-0.66	13.36	1.0	-0.04	-0.82
9	51.16	161.62	33.10	151.51	107.21	48.08	-10.23	-5.97	10.95	1.0	0.58	-1.07
10	41.04	169.64	35.83	159.54	117.52	35.45	-8.03	-10.31	12.63	1.0	1.28	-1.57
11	29.86	175.37	39.40	166.72	129.09	22.61	-7.18	-11.57	12.84	1.0	1.61	-1.79
3) Tension at 2nd support=3,200, at 3rd=3,101												
1	115.00	164.33	31.72	177.10	44.36	108.01	—	—	—	—	—	—
2	98.28	163.73	30.48	164.26	60.88	92.06	12.84	-16.52	15.95	1.0	-1.29	1.24
3	83.57	158.00	30.21	153.31	75.34	79.45	10.95	-14.46	12.61	1.0	-1.32	1.15
4	73.85	144.98	29.96	138.16	86.28	75.73	15.15	-10.94	3.72	1.0	-0.72	0.24
5	69.47	127.84	28.96	120.45	95.05	82.12	17.71	-8.44	-6.39	1.0	-0.48	-0.36
6	66.43	112.59	27.98	104.92	104.03	90.94	15.53	-8.98	-8.82	1.0	-0.58	-0.57
7	62.66	96.66	27.23	88.57	115.38	101.53	16.35	-11.35	-10.59	1.0	-0.69	-0.65
8	58.55	79.03	26.72	70.51	129.12	114.81	18.06	-13.74	-13.28	1.0	-0.76	-0.74
9	55.56	65.51	26.60	56.69	140.19	125.83	13.82	-11.07	-11.02	1.0	-0.80	-0.80
10	52.84	53.75	26.79	44.63	150.25	135.76	12.06	-10.06	-9.93	1.0	-0.83	-0.82
4) Tension at 2nd support=3,200, at 3rd=2,634												
1	49.48	35.66	27.21	26.31	165.69	151.85	—	—	—	—	—	—
2	54.89	54.90	26.10	46.31	148.07	135.47	-20.00	17.62	16.38	1.0	-0.88	-0.82
3	59.80	72.57	25.81	64.63	132.45	121.25	-18.32	15.62	14.22	1.0	-0.85	-0.78
4	63.79	85.79	25.89	78.40	120.98	111.49	-13.77	11.47	9.76	1.0	-0.84	-0.71
5	69.12	102.30	26.37	95.71	107.07	100.78	-17.31	13.91	10.71	1.0	-0.80	-0.62
6	73.94	116.50	27.10	110.67	95.77	93.27	-14.96	11.30	5.01	1.0	-0.76	-0.33
7	84.60	136.06	28.18	132.52	78.38	89.54	-21.85	17.39	6.23	1.0	-0.80	-0.28
8	181.07	149.32	29.39	150.81	59.22	98.56	-18.29	19.16	-9.02	1.0	-1.05	0.49
9	113.82	153.79	30.76	160.27	45.93	109.12	-9.46	13.29	-10.56	1.0	-1.40	1.12
10	127.55	157.46	33.15	170.18	31.73	121.26	-9.91	14.20	-12.14	1.0	-1.43	1.23
11	145.13	159.26	34.44	181.47	13.57	137.79	-11.29	18.16	-16.53	1.0	-1.61	1.46
5) Tension at 2nd support=3,200, at 3rd=1,676												
1	155.08	158.75	40.43	186.65	3.42	147.54	—	—	—	—	—	—
2	138.20	150.71	34.12	169.97	23.15	132.95	16.68	-19.73	14.59	1.0	-1.18	0.87
3	122.63	141.85	29.81	154.00	41.50	121.02	15.97	-18.35	11.93	1.0	-1.15	0.75
4	113.10	135.45	27.82	143.65	53.02	114.85	10.35	-11.52	6.17	1.0	-1.11	0.60
5	99.70	123.63	25.62	126.94	70.57	109.04	16.71	-17.55	5.81	1.0	-1.05	0.35
6	89.62	111.82	24.42	111.97	85.42	108.21	14.97	-14.85	0.83	1.0	-0.99	0.06
7	78.74	94.41	23.50	91.72	104.47	113.27	20.25	-19.05	-5.06	1.0	-0.94	-0.25
8	68.88	74.48	23.35	69.60	124.88	124.12	22.12	-20.41	-10.85	1.0	-0.92	-0.49
9	64.32	64.29	23.66	58.47	135.14	130.91	11.13	-10.26	-6.79	1.0	-0.92	-0.61
10	55.91	44.32	25.04	36.79	155.20	145.86	21.68	-20.06	-14.95	1.0	-0.93	-0.69

めには、2 支点張力固定、1 支点操作ということを基調とすれば、操作索の索速度を最高可能速度の $1/2 \sim 1/1.5$ くらいになるようにする必要があると考えられる。

また、このような速度差が生じることにより、制御の精度については、少なくとも速度入力まで考慮する必要がある、できれば、加速度入力に対する誤差についても考えておくべきであることがあらわされているといえよう。そうすると、この索の機構を含んだ制御系の開ループ伝達関数が少なくとも 1 形で十分大きなゲインをもつか、あるいは 2 形であることを要求されることになる。

このような問題についての解明には、実験的方法を必要とする（特に索機構の伝達関数は理論的に導くことが困難である）ので、これらのことについては後の報告にまわすことにし、ここでは、静的つり合い状態の成立する範囲にとどめておく。

5. あとがき

静的つり合い状態における計算で、以上のように検討したところから引き出されたことがらについて述べる。

3 支点架線の操作については、速応性の良い定張力装置を考えることによって、次の 3 通りの可能な方法が考えられる。

1) 3 支点における張力を、それぞれ適当な値に設定することによって、荷重点を任意の位置に移動させる。

2) 1 支点の張力を一定に保って、他の 2 支点の張力をいろいろに変えると 図-1 に示したような荷重点の軌跡面が得られるところから、適当な 1 支点の張力を適当な値に設定し、他の 2 支点の張力を操作することを繰り返して、荷重点を任意の位置に動かす。

3) 2 支点の張力を固定して、他の 1 支点の張力をい

ろいろに変えると 図-5 のような軌跡が求められるので、適当な 2 支点の張力を適当な値に固定して、他の 1 支点を操作することを繰り返して、荷重点を目的の位置へ導く。

このうち、特に、1) はプログラム・ランニングの場合に基調となるであろうと思われるが、3 節で述べたような位置誤差の問題を含む。2), 3) は手動操作の基調となるものと思われるが、プログラム・ランニングの方法としても最適制御の問題として取り扱える性質のもので、そのような場合には最大原理のような理論が有効となりそうに思われる。これらの点は、後の研究課題のひとつとしてとらえられる問題である。

さて、第Ⅲ報は、ここで報告した操作を可能ならしめる必要十分な条件であるところの定張力制御装置について検討する予定である。

なお、この定張力装置として、わたしたちは、非常に単純なリレーサーボ機構をもったものを作ったが、これは、従来のフォーリングブロック式架線の操作には使用できそうであるが、3 支点架線の場合には、その速度差のために張力の変動が大きく、あまり思わしくなかった。現在、これらの速度差を十分カバーできることを考えて、電磁誘導式クラッチを中心としたサーボ機構を考慮中であることを付け加えておく。

参考文献

- 1) 清水武夫・奥田 豊・高橋文彦：自動制御工学 366 pp. コロナ社、東京、1971
- 2) ボルチャンスキー：最適制御の数学的方法 300 pp, 総合図書、東京、1970

(1971 年 10 月 6 日受理)