

大阪大学工学部 正員 前田幸雄
大阪大学工学部 正員 林 正
川田工業(株) 正員 ○ 前田研一

1. まえがき 本文は 筆者らが製作、架設を考慮した架設設計に対応して前回は発表済の非線形解析法¹⁾を種々のモデルに適用した結果から、斜張橋の非線形性状、および、製作、架設誤差について2, 3の考察を加え、設計法確立のために一資料を与えようとするものである。

2. サグの影響に関するケーブルモデルのパラメトリック解析

斜張橋特有の非線形性の要因としてケーブルのサグの影響があり、導入引張応力、および、径間長と密接な関係にあるといわれる。そこで、図-1のモデルを対象として、引張応力の水平成分 H/A 、径間長に対応する水平射影長 l をパラメーターとするパラメトリック解析を行ない、サグの影響を定量的に把握することと試みた。計算結果の一部を表-1、図-2, 3に示す。

表-1は 放物線ケーブルの両端着点での異なる引張応力 T/A 、接線角 θ 、および、サグ比 $n = \Delta H/l$ を示している。また、図-2は 直線ケーブル、および、放物線ケーブルの両者の場合について所要無応力長 C_0 の算定を行ない、サグの影響を無視することによる前者の相対誤差を図示したものである。この図には、参考のために、直線ケーブルとして算定した C_0 を用い放物線ケーブルとしての計算を行なうことによる H の導入誤差も付記しておいた。さらに、図-3は 通常の弾性係数を用いる軸力部材の計算式^{2), 3)}と適用して、 $(H + \Delta H)/A \cdot \sec 45^\circ = 5.0 \times 10^4 \text{ (t/m}^2\text{)}$ である ΔH による水平変位 Δu を計算し、サグの影響を無視することによる前者の相対誤差を図示したものである。なお、従来のサグの影響を考慮した解析法との対応を考え、Ernstの修正弾性係数⁴⁾を用

いた場合の相対誤差もこの図に示した。

これらの表、図から、斜張橋設計の実際問題の範囲内では、導入引張応力の大きくない場合、径間長の長い場合には、本文の解析法を適用して製作、架設誤差を設計段階で除去しつづければならないことが十分に予測できる。

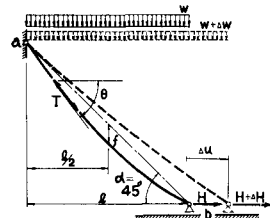


図-1 ケーブルモデル

表-1 両端着点における引張応力

接線角、および、サグ比

$H/A \cdot \sec 45^\circ$ (t/m^2)	l (m)	T_0/A (t/m^2)	T_0/A (t/m^2)	θ_0 (deg)	θ_B (deg)	$n = \Delta H/l$
1.0×10^4	100	10400	9616	47.25	42.66	0.020
	200	10814	9248	49.16	40.12	0.029
	300	11242	8899	51.02	37.38	0.059
	400	11685	8570	52.75	34.40	0.079
	500	12137	8265	54.36	31.18	0.099
2.0×10^4	100	20396	19612	46.10	41.85	0.010
	200	20799	19232	47.16	42.66	0.020
	300	21310	18860	48.18	43.42	0.029
	400	21827	18497	49.16	44.13	0.039
	500	22351	18143	50.10	44.78	0.049
3.0×10^4	100	30394	29610	45.72	44.24	0.007
	200	30793	29227	46.45	43.66	0.013
	300	31196	28848	47.16	42.66	0.020
	400	31607	28475	47.84	41.84	0.026
	500	32021	28107	48.51	40.99	0.033
4.0×10^4	100	40394	39610	45.55	44.43	0.005
	200	40791	39224	46.10	43.85	0.010
	300	41192	38842	46.63	43.26	0.015
	400	41597	38465	47.16	42.66	0.020
	500	42005	38091	47.67	42.05	0.024
5.0×10^4	100	50392	49610	45.44	44.54	0.004
	200	50789	49223	45.88	44.08	0.008
	300	51188	48839	46.31	43.62	0.012
	400	51590	48459	46.74	43.14	0.016
	500	51995	48082	47.15	42.66	0.020

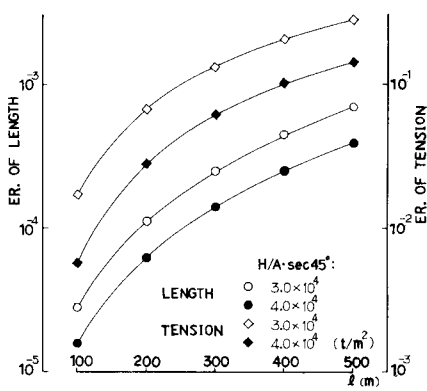


図-2 所要無応力長の算定誤差

および、張力の水平成分 H の導入誤差

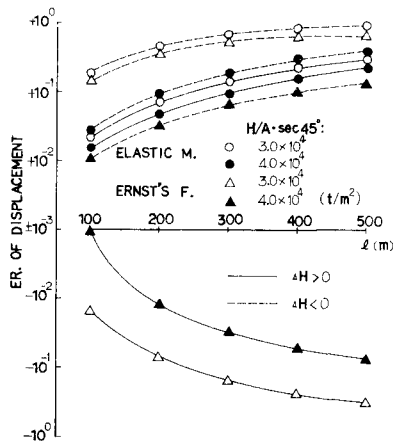


図-3 水平変位 Δu の計算誤差

3. 片持式工法による実橋架設モデルの架設計算例

図-4、表-2のモデルを対象とした計算結果の一部を表-3~5に示す。なお、製作誤差としては、各段のケーブルの製作長(無応力長)に+20mm、主桁の製作キャンバー(無応力形状)のケーブル着点位置に+25mmを採った。

これらの表から、変形の大きい主桁ブロック張出し時の架設段階で、形状変化による非線形性が顕著であることが解る。また、サグの影響による非線形性は、導入引張応力が小さいことから、ほとんどの架設段階で顕著である。すなわち、中小径間の場合にも、片持式工法による架設計算では、これらの非線形性を無視できないことが充分に予測できる。さらに、架設誤差は、各段のケーブル引込時の架設段階において、導入張力に比べ鉛直変位に顕著であり、キャンバー管理による施工管理が有効であることを推測できる。

表-2 荷重、断面諸量

		Pre-	Post-	(t/m)
DEAD LOAD	Pre-	4.085		(t/m)
	Post-	2.917		(t/m)
	LIVE LOAD	2.947		(t/m)

CABLE (No. & R.)		AREA (mm ²)	INERTIA (mm ⁴)	E (t/m ²)
CABLE	Lower	0.0204 (#60)	0.0	1.6×10 ⁴
	Middle	0.0278 (#70)	0.0	1.6×10 ⁴
	Upper	0.0358 (#80)	0.0	1.6×10 ⁴
GIRDER (STEEL DECK)		0.3470~0.4240	0.199~0.239	2.1×10 ⁴

表-3 最大(最小)鉛直変位、および、曲げモーメント

STEP	LINEAR	NON-LINEAR				
		(AXIAL C.)		(PARABOLIC C.)		
		DISPL. (mm)	MOMENT (kgm)	DISPL. (mm)	MOMENT (kgm)	
1,2	-0.065	997	-0.066	502	-0.123	502
3	0.862	-3503	0.698	-3107	0.695	-3107
4	-0.163	999	-0.164	603	-0.261	711
5	1.161	-3928	0.854	-3107	0.892	-3107
6	-0.455	923	-0.453	928	-0.555	1070
7	0.423	-2647	0.424	-2647	0.443	-2646
8	-0.159	-1645	-0.159	-1641	-0.194	-1685
Compl.	0.058	-1204	0.058	-1204	0.058	-1204

表-4 引張応力と撓曲値

STEP	CABLE		STRESS (t/m ²)	SLOPE (deg.)		
2	Lower	AXIAL	7353	7353	39.06	39.06
		PARABOLIC	7696	7059	42.14	36.06
4	Middle	AXIAL	7698	7698	27.18	27.18
		PARABOLIC	8345	7878	30.26	23.80
6	Upper	AXIAL	9497	9497	20.72	20.72
		PARABOLIC	10168	9721	23.81	16.88
Lower	Lower	AXIAL	19853	19853	39.13	39.13
		PARABOLIC	20196	19599	40.17	37.91
Compl.	Middle	AXIAL	19245	19245	27.28	27.28
		PARABOLIC	19424	18993	28.54	26.05
Upper	Upper	AXIAL	25698	25698	20.89	20.89
		PARABOLIC	25950	25475	22.27	19.49

4. 大径間斜張橋モデルの解析例

図-5、表-6のモデルを対象とした計算結果の一部を表-7、8に示す。

これらの表から、初期歪、形状変化による非線形性は、中小径間の場合と同様に、完成後においても、この程度であることが解る。一方、サグの影響による非線形性は、パラメトリック解析の結果を裏付けており、径間長の長大化に伴って、導入引張応力の大きい完成後においても無視できないものとなることが充分に予測できる。

5. あとがき

本文では、種々のモデルの計算結果、および、考察により、非線形性状、および、製作、架設誤差について、多くの特色を見出すことができた。本文が、斜張橋特有の非線形性を考慮した設計法の確立のために、一資料となれば幸いである。なお、計算には、UNIVAC 1106 (川田工業(株)電算センター)を使用した。

- (参考文献) 1) 前田 林 前田: 架設を考慮した大径間斜張橋の非線形解析法に関する、3の考察, 土木学会第32回年次学術大会論文発表要旨集, 1977.
2) 前田 林 前田: サグを考慮したケーブル材料の計算式, 土木学会論文報告集, No. 237, 1977.
3) Y. MAEDA, H. HAYASHI and K. MAEDA: Non-linear Analysis of Cable-Stayed Structures, Proc. of 26th Japan National Congress for Appl. Mech. 1976.
4) Ernst, H. J.: Das E-Modell von Seilen unter Berücksichtigung des Durchhangs, Bauingenieur, Heft 2., 1965.

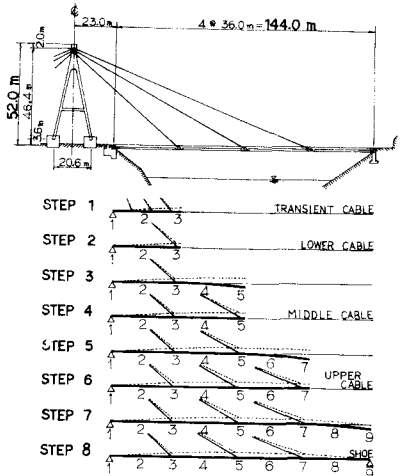


図-4 実橋架設モデル

表-5 製作誤差による架設誤差

KIND	CONDITION	STEP			
		2	4	6	Compl.
V. DISPL. (m)	Error	-0.062	-0.182	-0.571	0.125
	Real	-0.123	-0.261	-0.659	0.058
B. MOMENT (tm)	Error	602	781	1131	-1013
	Real	602	711	1070	-1204

CABLE TENSION (t)	Lower	Middle	Upper	Lower	Middle	Upper
Error	157	225	267	407	350	867
	144	213	254	394	339	852
Real	239	275	352	552	488	1033
	226	262	339	539	475	1013
Lower	157	225	267	407	350	867
	144	213	254	394	339	852
Middle	239	275	352	552	488	1033
	226	262	339	539	475	1013
Upper	157	225	267	407	350	867
	144	213	254	394	339	852

表-7 完成時引張応力と所要無応力長

Kind of Cable	Stress (t/m ²)				Non-Stress L. (m)			
	AXIAL	PARABOLIC	AXIAL	PARABOLIC	AXIAL	PARABOLIC	AXIAL	PARABOLIC
X 1-X 4	28112	28112	28112	28112	267.5	267.5	267.5	267.5
X 5-X 8	26712	26712	26712	26712	281.5	281.5	281.5	281.5
X 9-X 12	28112	28112	28112	28112	267.5	267.5	267.5	267.5
X 13-X 16	28112	28112	28112	28112	267.5	267.5	267.5	267.5
X 17-X 20	28112	28112	28112	28112	267.5	267.5	267.5	267.5
X 21-X 24	28112	28112	28112	28112	267.5	267.5	267.5	267.5
X 25-X 28	28112	28112	28112	28112	267.5	267.5	267.5	267.5

表-8 活荷重状態における各値の増分

	NODE	LINEAR	NON-LINEAR	
			AXIAL C.	PARABOLIC C.
V. DISPL. (m)	b	-0.531	-0.556	-0.557
	d	0.789	0.810	0.875
H. DISPL. (m)	e	0.892	0.898	1.022
	f	0.397	0.399	0.452
MOMENT (tm)	b	-19503	-20565	-21839
	c	-8130	-8120	-8251
TENSION (t)	d	12702	13489	13182
	e	15075	14780	14037
X 1	1	-18595	-19381	-19875
	2	678	675	633
X 2	1	678	675	634
	2	258	263	231
X 3	1	258	263	232
	2	356	358	325
X 25	1	356	358	325
	2	-54	-54	-56