

金沢大学工学部 正員 保田 市 兵 衛

(1) まえがき

吊橋の上部構造設計においては、応力および変形に因係する因子は他の型式の橋梁よりも多くあるが、線形あるいは非線形のたわみ理論によつて吊橋を解いた場合、諸因子が結果に対してどの程度に影響するのを知ることは必要なことである。筆者は計算の対照として神戸市調査室の“世界長大吊橋設計諸元”から、データーの揃つた表-1に示す如き10橋を選び出し、理論式としてはF. Bleichの線形たわみ理論式、非線形理論であるがF. Bleichと同様に、たわみ式をフーリエ級数であらわして解いたS.P. Timoshenkoの理論式および最もよく知られたD.B. Steinmanの非線形たわみ理論式(以下それぞれB式、T式およびS式と略称する)によつて、活荷重によるメーンケーブルの最大水平引張力および補剛桁の最大たわみを計算した結果について比較検討を試みた。

表-1 長大吊橋の諸元

No	橋 名	径 間 長 (m)		矢 跨 f (m)	補剛桁の 断面二次モーメント I (m ⁴)	メーンケーブルの 断面積 A _c (m ²)	荷 重 (%)		備 考
		中央 l	側 l ₁				活荷重 p	死荷重 w	
1	Verrazano-Narrows	1298.45	370.33	117.35	21.60	2.0332	7.14	55.08	メーンケーブル4本 2重束
2	Golden Gate	1280.16	342.90	143.26	5.28	1.0682	5.95	31.70	
3	Mackinac Straits	1158.24	548.64	106.68	7.78	0.4896	2.98	15.00	
4	George Washington	1066.80	185.93	99.06	3.96	2.0640	11.91	58.04	メーンケーブル4本 2重束、軌道併用
5	Forth Road	1005.84	408.43	94.44	4.73 (3.46)	0.4526	2.38	15.63 (22.29)	()内、数値は併用
6	New Tacoma Narrows	853.44	335.28	85.34	5.74	0.3252	2.53	12.91	
7	San Francisco Oak Bay	704.09	356.92	70.41	4.65	0.6774	10.42	27.98	重量表 軌道併用
8	Bronx-Whitestone	701.04	224.03	60.96	2.38	0.3922	4.46	16.37	
9	Delaware Memorial	655.32	228.60	65.53	1.68	0.3590	3.35	16.22	
10	Walt Whitman	609.73	234.63	59.44	1.82	0.4388	4.84	24.85	

表-2は表-1のデーターから各橋のスパン比、サッグ比、補剛桁の曲げ剛性EIならびにメーンケーブルの伸が剛性E_cA_cを中央径間長で除した値および活荷重と死荷重との比などを計算して示したものである。ただしE=21×10⁶、E_c=19×10⁶/m²とする。

(2) 計算結果

(a) メーンケーブルの水平引張力

表-3は全径間に活荷重が満載した場合、すなわち活荷重によるメーンケーブルの最大水平引張力の値を前述の3理論式で求めた結果およびS式による値に対する他のBおよびT式による値の比率を示したものである。B式による最大水平引張力の値はS式によるものよりも17~34%過大となる。T式による値はほとんどS式による値に近いが、0.3~1.3%大きくなる。ただしNo.3

表-2

No	径間長比 %	サッグ比 %	$\frac{EI}{l}$ (t/m)	$\frac{E_c A_c}{l}$ (t/m)	荷重比 %
1	0.285	1/1.1	3.493×10 ⁵	2.975×10 ⁴	0.130
2	0.286	1/8.9	0.866	1.585	0.188
3	0.474	1/0.9	1.411	0.803	0.198
4	0.174	1/0.8	0.780	3.676	0.205
5	0.406	1/1.0	0.988	0.855	0.152
6	0.393	1/0.0	1.412	0.725	0.196
7	0.507	1/0.0	1.387	1.820	0.372
8	0.320	1/1.5	0.713	1.063	0.273
9	0.349	1/0.0	0.538	1.041	0.207
10	0.385	1/0.3	0.627	1.367	0.195

No.7の如くスパン比が0.5程度のものにおいては、T式による値がB式による値より大なることは注目すべきことである。

No.5の如く中央と側径間の補剛桁の断面2次モーメントおよび死荷重の異なる型式では、B式およびT式による値はS式による値より10%程度大となる。

(b) 補剛桁のたわみ

(b-1) 中央径間の最大たわみ

表-4は中央径間に活荷重が満載したとき、3理論式による中央点のたわみ値および3者の比率を示したものである。特異な型式を除き、B式によるたわみはS式による値より30~62%大であるに対し、T式によれば前者とは逆にS式による値より一般に小さく、97.1~98.7%となり危険側の値が得られる。しかしEIの大なるNo.1ではほとんど差はない。最大水平引張力の場合と同様に%の大きいNo.7ではB式によれば84%、またT式によれば10.7%小となる。またNo.5の如き特異な型式ではB式による値が11.1%小となることなどは注目すべきことである。

(b-2) 側径間の最大たわみ

表-5は片側の側径間のみに活荷重が満載したとき、その中央点のたわみを前項の如く計算した結果を示す。中央径間におけるたわみと大体似た傾向であるが、比率は中央径間におけるより表示の如く小となる。

表-3 メーンケーブルの最大水平引張力 (t)

No	by F. Bleich		by S.P. Timoshenko		by D.B. Steinman
	H_b	H_b/H_s (%)	H_T	H_T/H_s (%)	H_s
1	10737	102.9	10576	101.3	10436
2	7592	101.7	7494	100.4	7465
3	3865	102.1	3871	102.2	3787
4	14863	102.3	14580	100.3	14539
5	2678	110.8	2622	108.5	2417
6	2302	102.4	2272	101.1	2247
7	8091	103.6	8145	104.3	7810
8	3737	103.4	3653	101.1	3614
9	2406	102.0	2380	101.3	2359
10	3218	102.1	3193	101.3	3152

表-4 中央径間の最大たわみ (m)

No	by F. Bleich		by S.P. Timoshenko		by D.B. Steinman
	η_b	η_b/η_s (%)	η_T	η_T/η_s (%)	η_s
1	3.001	104.1	2.859	99.2	2.882
2	3.559	100.3	3.358	93.6	3.589
3	6.122	105.7	5.561	96.0	5.790
4	2.786	103.0	2.672	98.7	2.706
5	3.543	88.9	3.914	98.3	3.981
6	3.210	105.9	2.957	97.5	3.032
7	6.838	108.4	5.633	89.3	6.308
8	3.206	105.8	2.971	98.0	3.031
9	2.217	105.1	2.047	97.1	2.109
10	2.430	106.2	2.240	97.9	2.288

表-5 側径間の最大たわみ (m)

No	by F. Bleich		by S.P. Timoshenko		by D.B. Steinman
	η_b	η_b/η_s (%)	η_T	η_T/η_s (%)	η_s
1	0.936	100.1	0.927	100.0	0.927
2	1.599	98.6	1.571	96.9	1.621
3	3.695	99.8	3.643	98.4	3.701
4	0.488	100.0	0.488	100.0	0.488
5	1.687	92.8	1.772	97.5	1.818
6	1.474	102.0	1.442	99.8	1.445
7	4.851	102.2	4.682	98.7	4.745
8	1.068	94.2	1.064	93.8	1.134
9	1.092	100.2	1.088	99.8	1.090
10	1.248	100.4	1.239	99.7	1.243

以上を要するに長大吊橋においても、簡易化された線形理論式によるもの、また厳密な非線形理論式によつても、メーンケーブルの最大水平引張力および最大たわみについては、諸因子の計算結果に影響することは少なく、試算によつて何回も繰返し計算を行なわねばならぬ厳密解によるよりも、1回の計算で直ちに最大水平引張力および最大たわみの得られるF. Bleichの如き線形たわみ理論式を用いて得られた結果に数パーセントの調整をすればよく、また特異な型式に対しても最大水平引張力については約10%、また最大たわみについては約11%の調整をすれば厳密解に近似した値が得られる。