

I-51 吊橋主塔の構造特性に関する実績調査

清水建設 正会員 田中智昭
 芝浦工業大学 正会員 山本一之
 東京都立大学 正会員 野上邦栄
 東京都立大学 正会員 成田信之

1. まえがき 近年、環境に適合した美しい外観を備えた橋梁が望まれるという風潮から、より自由な発想のもとで吊橋主塔の形状が議論されることが多くなっている。このような状況にあって、骨組構造物としての主塔の座屈設計は、有効座屈長の算出に非弾性を考慮するなどの特徴を持った有効座屈長法¹⁾により行われている。しかし、DIN18800²⁾、土木学会鋼構造物設計指針³⁾等にみられるように、構造設計法は許容応力度設計法から限界状態設計法に移行しつつあり、構造部材の最大耐荷力を基準とした設計思想へと切り換えが進められている。このような状況にあって、吊橋の重要な構成要素である主塔に関する詳細な実績調査報告はこれまで少なく、その構造特性を把握することは今後の主塔の合理的さらには信頼性に富んだ設計法を確立する上で重要である。ここでは、現時点での吊橋主塔に関する国内外の資料を整理し、設計上の一資料を提供することを目的としている。

2. 調査対象吊橋・調査内容 今回、調査対象とした吊橋は表-1に示すように中央径間長450m以上の鋼製主塔を持つ39橋（工事中を含む）である。調査内容は、紙面の都合上省略するが吊橋全体系に関する9項目と主塔に関する13項目から成る。こ

表-1

れらの項目に対する調査は文献を用いて行い、必要に応じて補足的な数値計算を試みた。なお、工事中の吊橋は試算設計時の断面諸元の値を用いた。また、以下の調査結果では骨組形式をパラメータにしており、ラーメン形式○、斜材形式●および複合形式△を用いて表示している。

3. 調査結果 図-1は、中央径間長 L と塔高 H の関係をまとめたものである。この関係には直線相関が成り立ち、 $H=30+0.13L$ と近似できる。図-2は、塔基部中心間隔 B_b に対する塔頂部中心間隔 B_u の比 B_u/B_b と塔高の関係から塔の傾斜について調査したものである。全体的には、直塔が57%を占めているが、架設技術の進歩や視覚的および力学的安定性の観点から斜塔形式も増大する傾向にある。図-3は、吊橋構造、ケーブルおよび主塔の合計として求めた上部構造総鋼重 w_a とその内に占める主塔鋼重について調べたものである。主塔鋼重の割合の全体平均は30%にも及ぶ。

ケーブルを介して塔頂部に鉛直反力 V と水

Identification	Span	Tower height	Tower type	Country	Date opened
1 Akashi-Kaikyo	1990	323	Truss	Japan	U.C.
2 Verrazano Narrows	1298	192	2-story	U.S.A.	1964
3 Golden Gate	1280	210	comb.	U.S.A.	1937
4 Mackinac Straits	1158	157	4-story	U.S.A.	1957
5 Minami-Bisan-Seto	1100	181	Truss	Japan	1988
6 Bosphorus-II	1090	107	2-story	Turkey	1988
7 Bosphorus-I	1074	165	3-story	Turkey	1973
8 George Washington	1067	170	2-story	U.S.A.	1931
9 Kurushima-III	1030	183	story*	Japan	U.C.
10 Salazar (Tagus or 4.25)	1013	181	Truss	Portugal	1966
11 Kurushima-II	1010	182	story*	Japan	U.C.
12 Forth Road	1006	150	Truss	U.K.	1964
13 Kita-Bisan-Seto	990	170	Truss	Japan	1988
14 Severn	988	122	3-story	England	1966
15 Shimotsui-Seto	940	137	3-story	Japan	1988
16 Ohnaruto	876	126	Truss	Japan	1985
17 Tacoma Narrows-II	855	142	comb.	U.S.A.	1950
18 In-no-shima	770	138	Truss	Japan	1983
19 Hakuchō	720	120	4-story	Japan	U.C.
20 Kanmon	712	134	Truss	Japan	1973
21 Angostura (Orinoco)	712	119	2-story	Venezuela	1967
22 S.F. Oakland-Bay	704	140	Truss	U.S.A.	1936
23 Bronx-Whitestone	701	106	2-story	U.S.A.	1939
24 Pierre-La-porte	668	116	2-story	Canada	1970
25 Delaware-Memorial-II	655	127	2-story	U.S.A.	1968
26 Kurushima-I	610	136	story*	Japan	U.C.
27 Walt-whitman	610	105	2-story	U.S.A.	1957
28 Tokyo-Ko	570	117	3-story	Japan	U.C.
29 Ambassador	564	109	Truss	U.S.A.	1929
30 Ohshima	560	190	2-story	Japan	1985
31 Throgs-Neck	549	98	2-story	U.S.A.	1961
32 Benjamin Franklin	533	105	Truss	U.S.A.	1926
33 Matadi	520	96	2-story	Zaire	1984
34 Kleve-Emmerich	500	74	2-story	Germany	1965
35 Chesapeake-Bay	488	104	Truss	U.S.A.	1952
36 New port	488	112	3-story	U.S.A.	1969
37 Hirado	465	78	3-story	Japan	1980
38 Vincent Thomas (San Pedro)	457	111	5-story	U.S.A.	1963
39 Mid-Hudson	457	85	Truss	U.S.A.	1930

* Undecided, Unit:m

平変位 δ を受ける塔柱の必要曲げ剛性に対するケーブル水平反力 F について調べたのが図-4である。この図から明らかなように $F < 0$ の領域で必要剛性を決めている主塔が近年多いことに注目したい。次に有効座屈長について数値計算を試みた。橋軸方向塔柱の限界座屈荷重を表す有効座屈長として、一端固定他端ヒンジ塔柱の有効座屈長 $0.7H$ を見掛けの有効座屈長とみなし、その細長比 $0.7H/\gamma_y$ と塔高の関係を示したのが図-5である。斜材形式とラーメン形式の違いによる差は見られず、その平均値は $0.7H/\gamma_y = 45$ となった。最後に、橋軸直角方向の全体座屈荷重を表す有効座屈長 ℓ_e を設計公式¹⁾、有効接線弾性係数法¹⁾ および弾性固有値解法⁴⁾ により算出し、細長比 ℓ_e/γ_x と塔高の関係を示したのが図-6である。有効接線弾性係数法により得られた細長比が最も短い値を示しており、その平均値は $\ell_e/\gamma_x = 35.9$ になった。

参考文献 1) 本州四国連絡橋公団：吊橋主塔設計要領・同解説，1988。2) DIN18800: Die Deutsch Institut für Normung E.V., Teil 1,2, 1988。3) 土木学会：鋼構造物設計指針，1987。4) 伊藤文人・野上邦栄・田中充夫：ラーメン形式吊橋主塔の耐荷力解析，構造工学論文集，Vol.34A，1988.3

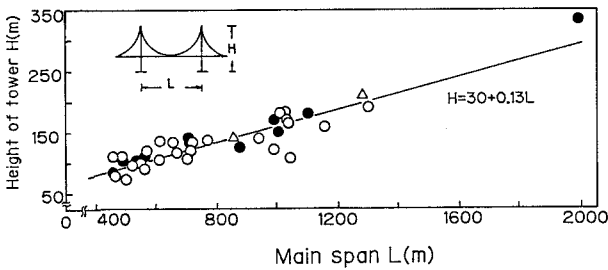


図-1

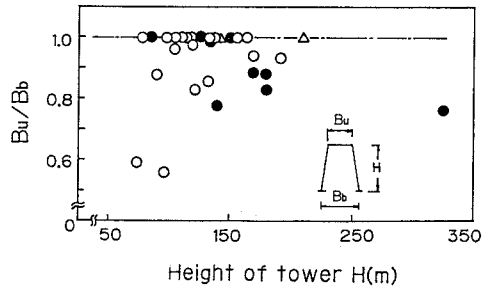


図-2

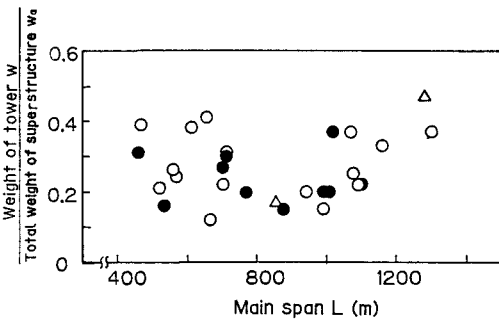


図-3

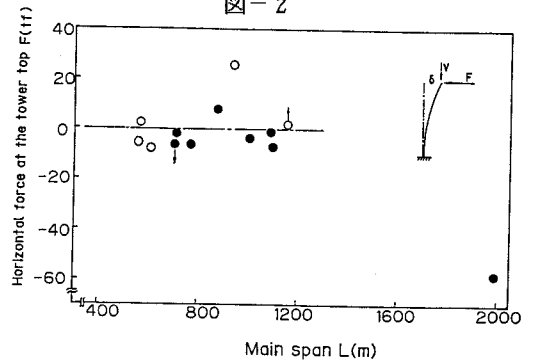


図-4

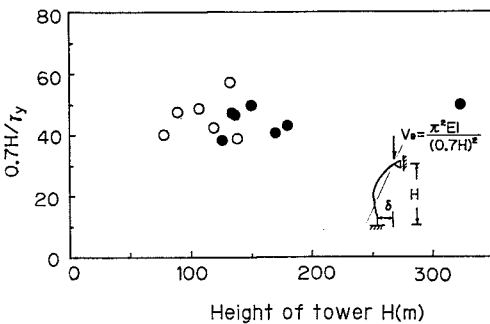


図-5

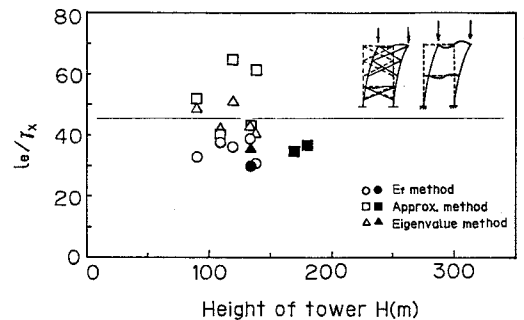


図-6