

福岡県庁 正員 ○二木 秀敏
 熊本大学工学部 正員 小林 一郎
 同上 正員 崎元 達郎
 川崎製鉄(株) 正員 古田 俊宏

1. はじめに 本研究では、無補剛吊形式水管橋の完成形状において、詳細設計に先だって決定すべき骨組形状に関するパラメータについてコスト最小設計を試みる。ただし、直接最適設計を行うには、4段階に分けた荷重載荷の各段階で幾何学的非線形解析を行う必要があり、いわゆる、OPTIMIZER(最適化計算)に比べANALYZER(構造解析)の部分の計算時間が極度に長くなるため、簡易な構造解析を用いる必要がある。また、目的関数も1) ケーブル構造、2) 主塔、3) アンカレッジの3つに分け、2)、3)については、メインケーブルのサグ比、サイドスパンの取り付け角度等の変数の関数として、あらかじめ最適化を行っておくものとする。ここでは、2)、3)の最適化の結果と構造解析を線形理論と非線形理論で行ったときの部材力の結果について述べる。

2. 解析モデル 図-1に解析モデルを示す。 L_c, L_w は定数であるので、実際には H_m, H_w, L_s を変化させるものとする。また、構造解析の計算順序は図-2に示すように1) 死荷重の載荷(D荷重)、2) プレストレスの導入(P荷重)、3) 活荷重(水荷重)の載荷(L荷重)、4) 風荷重の載荷(W荷重)となっている。ただし、耐風ケーブルは第2段階で取り付けその両端を自由端としてプレストレス力を作作用させ、第3段階以降は両端を固定端として解析を行っている。

3. 最適設計問題の設定

3.1 設計変数

1) 骨組形状に関する変数(3変数)

メインケーブルサグ比: $f_m = H_m/L_c$

耐風ケーブルサグ比: $f_w = H_w/(L_c + 2L_w)$

スパン比: $r = L_s/L_c$

ただし、 H_m, H_w はメインケーブルと耐風ケーブルのサグである。また、 L_c, L_w は主塔間および主塔と耐風ケーブル定着点間の距離で、定数とする。

2) ケーブル断面積に関する変数(4変数)

メインケーブル断面積 A_m 、耐風ケーブル断面積 A_w 、ハンガーケーブル断面積 A_h 、タイケーブル断面積 A_t

なお、制約条件としては、上記4種類のケーブルの最大部材力に制限を設けるものとする。

3.2 目的関数

本水管橋は、補剛吊橋と比較し、上部工の使用鋼重を大幅に低減できるが、このことは相対的にアンカレッジのコストが大きくなることを意味している。このため目的関数としては、アンカレッジのコストも含め、次の通りに定める。

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \rightarrow \min \quad (1)$$

C_1, C_2, C_3 については以下のとおりである。

1) ケーブルの総コスト

$$C_1 = C_m \rho A_m \Sigma l_m + C_w \rho A_w \Sigma l_w + C_h \rho A_h \Sigma l_h + C_t \rho A_t \Sigma l_t \quad (2)$$

C_i : 単位重量当りの単価、 ρ : 単位体積重量、

A_i : ケーブルの断面積、 Σl_i : ケーブル i の全長

2) 塔のコスト (C_T)

$$C_2 = 2C_T(f_m, N_V) \quad (3)$$

ただし、 C_T は f_m (メインケーブルスパンサグ比)、 N_V (メインケーブルの塔頂での鉛直力)の関数とする。

3) アンカーのコスト (C_A)

$$C_3 = 2C_A(N_A, \theta_A) \quad (4)$$

ただし、 N_A はサイドケーブルの軸力、 θ_A はサイドケーブル取り付け角である。

ここで C_2, C_3 はあらかじめ各々の変数に対してパラメータ解析を行い、回帰式を求めておくものとする。

水管位置は常に、地上より6mとし、塔高が変化した場合骨組形状は相似形で変化するものとする。表-1、2は $L_c = 300\text{m}$ のときの f_m と θ_A の最適主塔重量とアンカレッジ重量である。これに適当な単価を掛けて C_2, C_3 を求める。

4. 構造解析 最適設計を行う場合には、最適化計算そのものが非線形解析となるため、構造解析については、極力簡便な方法でより正確な応力

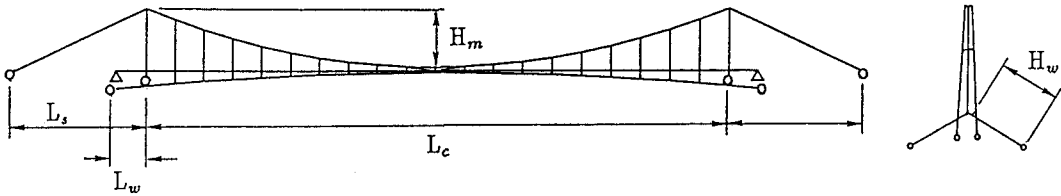


図-1 解析モデル

表-1 主塔の最適重量(単位: tf)

θ_A \ f_m	1/14	1/12	1/10	1/8	1/6
20	43.113	48.230	61.658	70.533	89.784
30	42.619	48.230	61.658	73.642	89.652
40	43.245	48.230	61.658	73.642	93.740
50	43.417	48.362	61.790	73.774	93.748
60	43.245	48.650	61.962	73.946	93.748

表-2 アンカレッジの最適重量(単位: m^3)

θ_A \ f_m	1/14	1/12	1/10	1/8	1/6
20	904	792	672	560	432
30	960	828	720	576	448
40	1008	880	720	608	476
50	1040	912	792	640	504
60	1144	1000	874	704	560

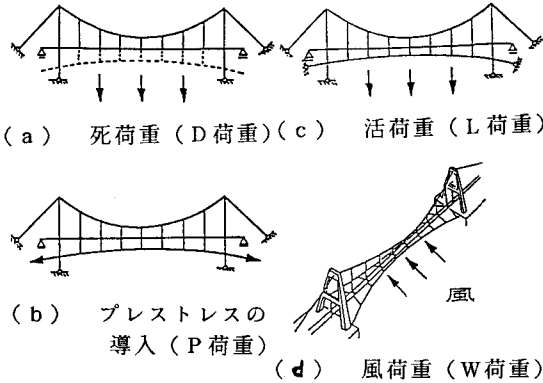


図-2 载荷順序

表-3 解の比較 ($L_C = 150m$ 、単位: tf)

	メイン		耐風		ハンガー		タイ	
	線形解	非線形解	線形解	非線形解	線形解	非線形解	線形解	非線形解
D	54.25				3.20			
P	74.31		45.00		4.63		1.48	
L	162.37		40.01		10.93		1.32	
W	162.37	166.32	107.65	85.12	10.93	11.23	3.38	3.19
差(比)	-3.95 (-2.4%)		22.53 (26.5%)		-0.30 (-2.7%)		0.19 (6.0%)	

表-4 解の比較 ($L_C = 300m$ 、単位: tf)

	メイン		耐風		ハンガー		タイ	
	線形解	非線形解	線形解	非線形解	線形解	非線形解	線形解	非線形解
D	122.15				3.29			
P	171.60		100.60		5.08		1.83	1.83
L	319.30		90.92		10.43		1.65	1.67
W	319.30	329.82	238.53	184.80	10.43	10.69	4.02	4.04
差(比)	-10.52 (-3.2%)		53.73 (29.1%)		-0.26 (-2.4%)		-0.02 (0.5%)	

度の評価が行えることが望ましい。前述のとおり本構造形式は変位に対しては非線形性の強い構造であるが、ここでは、最適設計の前段階として構造解析法の違いによる部材力の比較を行った。すでにD荷重からL荷重までの3段階の線形解と非線形解の最大部材力にはほとんど差のないことが確かめられている³⁾のでここでは、風荷重(W荷重)による解の比較を行った。結果は表-3、4に示すとおりで、メイン、ハンガー、タイの各ケーブルの差は最大でも6%であり、すべてを線形解析で行っても最適解にそれ程の差は生じないと思われる。これに対して耐風ケーブルでは30%近く線形解の方が大きくなり、非線形解析を行った方が合理的な設計になることがわかる。ただし、ここでは耐風ケーブルについては線形解の最大部材力に0.7を掛けて非線形解とし、この値に対して応力制約式をたてることとする。

本コスト最小設計の主旨は、詳細設計に入る前に、主として骨組形状に関するパラメータを決定することにある。このため、部材断面積の決定に当たっては構造解析は線形計算に従っても十分その目的を達成できるものと考ええる。なお、全体の最適設計の結果については講演時に報告の予定である。

参考文献 1) 崎元他: 吊形式水管橋の非線形解析と設計上の問題点の考察、第45回年講、pp.600-601、1990。 2) 小松、崎元: Nonlinear Analysis of Spatial Frames ..., 土木学会論文集, No.252, pp.143-157, 1976。 3) 二木他: 吊形式水管橋のコスト最小設計、平成2年度西部支部研究発表会, pp.24-25。