

I-422

骨組形状の異なる吊形式水管橋のコスト比較

熊本大学工学部 正員 小林 一郎 正員 崎元 達郎
 川崎製鉄(株) 正員 中村 聖三 正員 ○脇長 正

1. はじめに 本研究では、吊形式水管橋のケーブル断面の最適設計を行った。さらに、あらかじめコスト比較設計より求めた主塔およびアンカーレッジのコストより全コストを求め、支間150mと300mのモデルについてメインケーブルサグ比、耐風ケーブルサグ比、センタースパン・サイドスパン比を変化させたときのコスト比較を行ったものである。

2. 最適設計の概要

1) 構造解析の概要

本水管橋の構造部材は、メインケーブル、耐風ケーブル、ハンガー、タイケーブルの4種類で

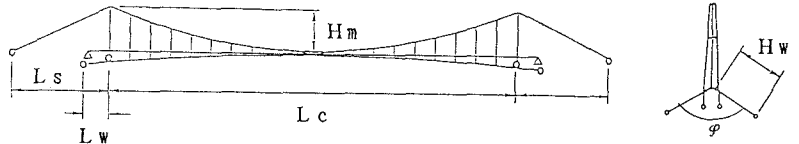
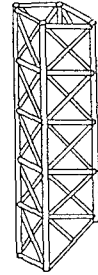
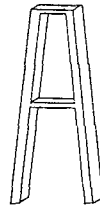


図-1 解析モデルの骨組形状

構成されている。(各々の断面積をそれぞれAm、Aw、Ah、Atとする。)

水管はその機能によって断面が決定されるものと考え、コスト評価の対象としては4種類のケーブルのみを考える。図-1は解析モデルの骨組形状であり、Lc、Lwは定数と考え、実際にはHm、Hw、Lsを変化させるものとする。また、構造解析の計算順序は、①死荷重の载荷、②プレストレスの導入、③活荷重(水荷重)の载荷、④風荷重の载荷の4段階よりなっている。ただし、耐風ケーブルには第2段階でプレストレスを作用させ、第3段階以降は両端を固定端として解析を行っている。



支間150mのタワー 支間300mのタワー

図-2 解析モデルのタワー形状

参考に、支間150mと300mのモデルのタワー形状を図-2に示す。

2) 設計変数 設計変数は骨組形状に関するものとケーブル断面積に関するものがある。断面積の最適解は全応力設計より求め、骨組形状に関する設計変数の最適解はパラメーターごとにコストの比較を行って最小になったときのものを最適解とする。また、骨組形状に関する3つの変数は、

$$\begin{aligned} \text{メインケーブルサグ比: } f_m &= H_m / L_c \\ \text{耐風ケーブルサグ比: } f_w &= H_w / (L_c + 2L_w) \\ \text{センタースパン・サイドスパン比: } r &= L_s / L_c \end{aligned}$$

とする。ただし、Hm、Hwはメインケーブルと耐風ケーブルのサグであり、LcとLw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。

3) 制約条件 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。各ケーブルの破断荷重をTs、軸力をN、安全率をν、断面積をA、許容応力度をσaとすると、次式のようになる。

$$N / A < T_s / \nu A = \sigma_a \quad (1)$$

4) 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、相対的にアンカーレッジのコストが大きくなる。このため目的関数としては、次の通り定める。

$$C = C_c + C_r + C_A \rightarrow \min \quad (2)$$

ただし、Ccはケーブルの総コスト、Crは主塔の総コスト、CAはアンカーレッジの総コストである。

3. 数値計算結果

1) 支間300mのモデルについて、最小重量設計による A_m と A_w の最適解の収束状況を図-3に示す。 A_m 、 A_w の初期値を 100cm^2 とした場合、計算のはじめの2、3回で急速に最適解に収束しており、その最適解は全応力設計となっている。

2) 支間150mと300mのモデルについて、 f_m の最適解を求め、図-4に示す。なお、図の縦軸は支間150mのモデルの $H_m=25\text{m}$ のアンカーレッジのコストを1とした比率で表す。

支間150mでは、ケーブルのコストに比べ主塔のコストが大きいため、極力主塔を低くした方が良く、 $H_m=25\text{m}$ ($f_m=1/15$)付近に最適解があるのに対して、支間300mでは、総コストに占めるケーブルのコストが大きいため、ケーブル軸力を小さくできるよ、ある程度 H_m を大きくした33m ($f_m=1/9$)付近に最適解があることが分かった。

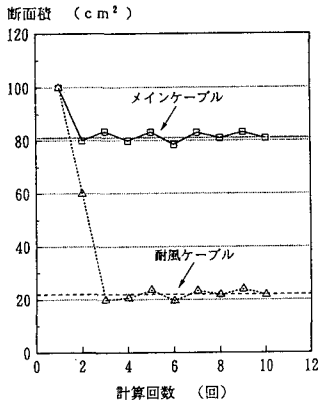


図-3 A_m と A_w の最適解の収束状況

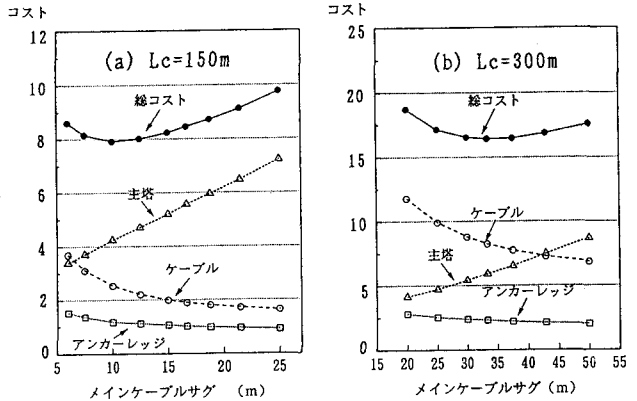


図-4 f_m を変化させた場合

3) 支間300mのモデルについて、 f_w 、 r の最適解を求め、図-5、6に示す。なお、図の縦軸はコストの比率を表し、比率は図-4と同じである。また、図-7は塔頂における力のつりあいを示したもので、 N_c 、 N_s はセンタースパン側とサイドスパン側のメインケーブル軸力、 θ_c 、 θ_s はセンタースパン側とサイドスパン側のメインケーブルと主塔のはさむ角である。

図-5より、耐風ケーブルスパン・サグ比は値が小さいほど望ましいことが分かった。これは、耐風ケーブルに導入されるプレストレスの減少にともないメインケーブルコストが低下するためである。ただし、サグ比の変化による総コストの変化は小さく耐風ケーブルサグ比は考慮する必要はないと思われる。

図-6の最適解は $N_s=N_c$ となるときであり、これは θ_c と θ_s が等しくなるときである。

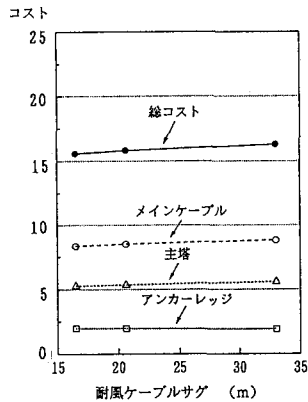


図-5 耐風ケーブルサグを変化させた場合

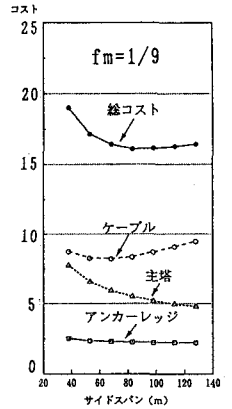


図-6 サイドスパンサグを変化させた場合

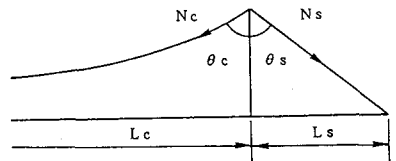


図-7 センタースパンとサイドスパンの関係