

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 学生員 ○染矢 敏寿
 同上 正員 小林 一郎
 同上 正員 崎元 達郎
 川崎製鉄(株) 正員 中村 聖三

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、メインケーブルサグ比、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 A_m 、耐風ケーブル A_w 、ハンガー A_h 、タイケーブル A_t の4種類で構成されている。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、 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、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)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力を作用させ、第3段階以降は両端を固定端として解析を行っている。

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、

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: $f_w = H_w / (L_c + 2L_w)$

センタースパン・サイドスパン比: $r = L_s / L_c$ とする。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り、 L_c と 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。

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 T_s 、軸力を N 、安全率を ν 、断面積を A 、許容応力度を σ_a とすると、次式のようになる。

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

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、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、 C_c はケーブルの総コスト、 C_r は主塔の総コスト、 C_a はアンカーレッジの総コストである。

3. 数値計算

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-2に示す。なお、図の横軸は計算回数、縦軸は断面積である。 A_m 、 A_w の初期値を 100cm^2 とした。両方とも計算のはじめの2、3回で急速に最適値に接近するが、その後は緩やかになり、 A_m は 82cm^2 付近に A_w は 22cm^2 付近に収束した。結果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-3に示す。なお、図の横軸は H_m 、縦軸は支間150mのモデルの $f_m = 1/6$ 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、 $1/15$ 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ある程度 H_m を大きくした $1/9$ 付近に最適解がある事が分かった。

3) 支間300mのモデルについて、 r の最適解を求め図-4に示す。なお、図の横軸は L_s 、縦軸はコストの比率を表し、比率は図-3と同じである。また、図-5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。図より、主塔のコストはいずれも右下がりである。これは、 L_s が長くなるにつれて N_c がほとんど変化しないのに比べ、 N_s が小さくなり合力としての主塔に作用する鉛直力が小さくなって行くためである。ケーブルのコストは、 L_s が小さいと $N_s > N_c$ となり N_s によってメインケーブル断面が決定されるのに対して、 L_s が大きくなり $N_s < N_c$ となると、ほぼ一定値である N_c によって

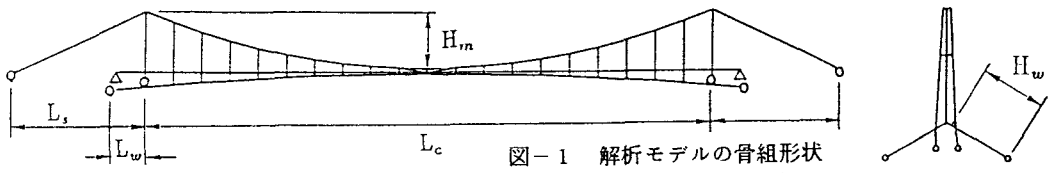


図-1 解析モデルの骨組形状

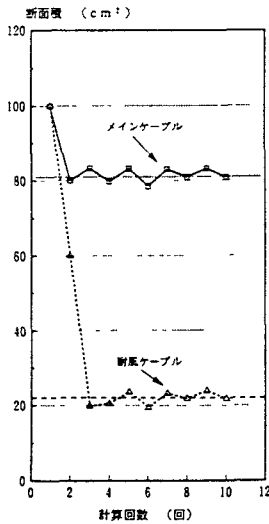


図-2 A_m と A_w の最適解の収束状況

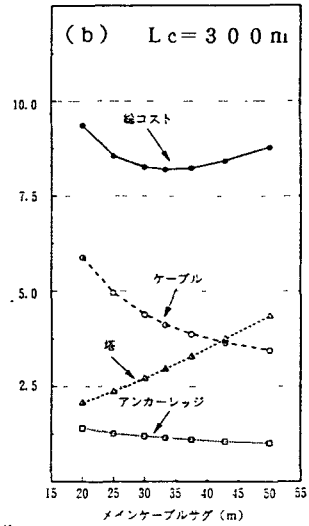
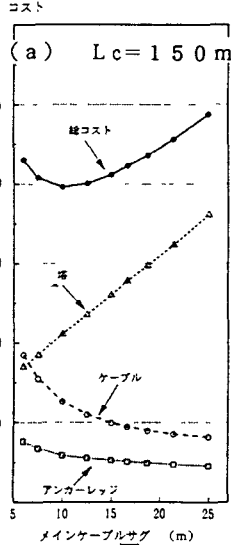


図-3 f_m を変化させた場合のコスト比較

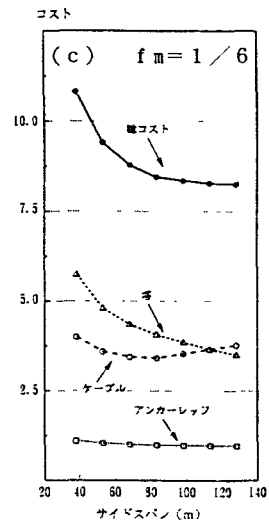
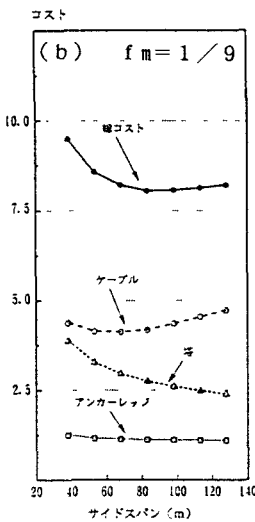
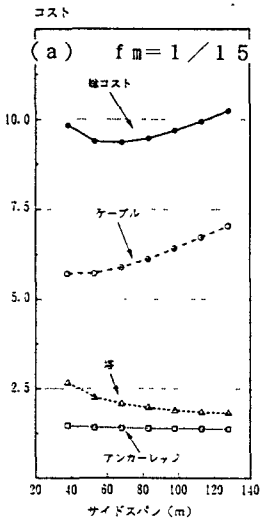


図-4 L_s を変化させた場合のコスト比較

断面が決定され、コストの増加はサイドスパン側のメインケーブルの長さのわずかな増加のみとなる。従って $N_s = N_c$ となるときの最適解となる。これは、 θ_c と θ_s が等しくなるときである。ただし、 L_s を大きくすることは、实际的ではなく、 θ_s を極力大きくする事がコスト減につながることを意味している。

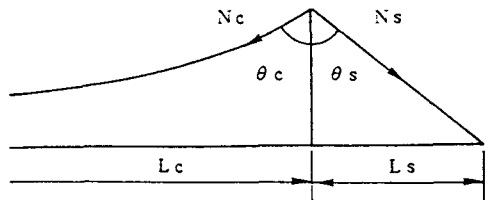


図-5 塔頂での力のつりあい