

愛媛大学工学部 正員 見沢 繁光
〃 正員 大賀 水田生
二神組株式会社 正員 久保 丈夫

1. まえがき 従来、多く架設されている斜張橋は連続桁形式(C-T)であるが斜張橋はつり橋に比較して剛な構造物であり、支点沈下により桁に不測の応力が生じることが考えられる。そこで、本研究では構造の簡素化および支点沈下により桁に生じる不測の応力を処理しやすくするため中央スパンにヒンジを有する3スパンの斜張橋(H-T)を考えてみた。しかし、ヒンジ形式ではヒンジ部の折れ角が問題となるため、その折れ角を改善する構造(以下特殊ヒンジと呼ぶ)を有する斜張橋(S-H-T)をも考えた。そして、これら3形式の力学的性状を把握するために2、3の静的、動的特性を考察した。静的考察としてはケーブル配置とケーブルプレストレスの変化による桁の曲げモーメントに、動的考察としては振動特性に注目した。なお、3形式の斜張橋模型を製作し振動実験を行ない、3形式の比較、および理論値との比較を行なった。また、理論解析には伝達マトリックス法を用いたが、今回の解析において次のような仮定を設けた。1)変形は微小変形理論に基づくものとする。2)塔の曲げ剛性が大きいので、塔の桁およびケーブルに及ぼす影響は小さく、ケーブルが桁に及ぼす影響は大きい。したがって塔は固定とした。動力学的解析では1)、2)の他に3)モデルとして多質点構造物を考え、ケーブルを弾性支承とする連続桁に置換した。

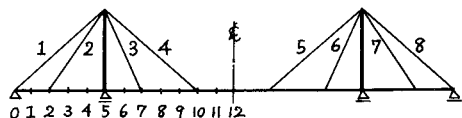


図-1 斜張橋モデル

2. 静力学的考察 解析モデルとしては図-1に示すような8本のケーブルを有する3径間斜張橋を考え、ケーブルは左右対称に配置し、両端の2本(ケーブル番号1,8)は支점에固定した。ケーブル位置を表-1に示しており、今回考えたケーブル配置は連続桁形式では12種類、ヒンジ、特殊ヒンジ形式では20種類である。なお、特殊ヒンジ形式は静力学的にはヒンジ形式に等しいのでヒンジ形式に含めた。それぞれのケーブル配置で桁の任意点 x の曲げモーメント M_x は次式により与えられる。

表-1 ケーブル配置

ケーブル番号	ケーブルポイント
1	0
2	2, 3
3	7, 8, 9, *10
4	9, 10, 11, *12

*はヒンジ形式のみ

$$M_x = \bar{M}_x + \sum_{i=1}^n M_{xi} F_i \quad (1)$$

ここに、 $\bar{M}_x$:任意点 x における桁の自重による曲げモーメント、 n :全ケーブル本数(8本)、 M_{xi} :ケーブル取り付け位置 x_i に単位荷重を載荷したときの任意点 x に生じる曲げモーメント、 F_i :各ケーブル張力の鉛直成分。

式(1)により、桁に生じる曲げモーメント M_x の絶対値を最小にするようなケーブル張力 F_i を求めた。図-2は連続桁形式、ヒンジ形式の最有効なケーブル配置と補剛桁の曲げモーメントを示している。図-2より明らかなように連続桁形式とヒンジ形式の最有効ケーブル配置は一致している。また曲げモーメントの最大値は連続桁形式では518 kg·cm、ヒンジ形式では495 kg·cmとなりヒンジ形式の方がわずかに小さくなっている。なお、このケーブル配置でのケーブル

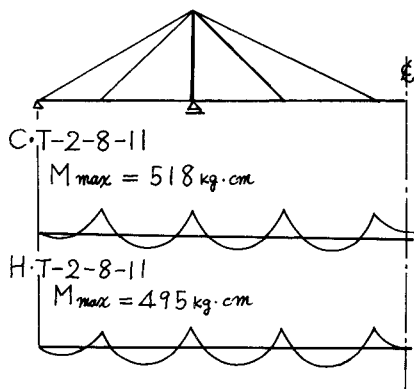


図-2 モーメント図(死荷重)

ル張力は連続桁形式では $F_1=963g$, $F_2=723g$, $F_3=762g$, $F_4=963g$ となり、ヒンジ形式では $F_1=963g$, $F_2=676g$, $F_3=754g$, $F_4=963g$ である。

3. 振動解析 前節で得られた静力学的に有効なケーブル配置5種類について連続桁、ヒンジ、特殊ヒンジ形式の振動解析を行なった。解析方法としては前述したように伝達マトリックス法を適用したが、その際特殊ヒンジのモデルとして図-3に示すような弾性回転バネを用いた。すなわち、力学的にはたわみ角に比列する曲げモーメントが生じるモデルである。したがって、特殊ヒンジ前後の状態量の変化は

$$\left. \begin{aligned} w_i^R &= w_i^L, \quad M_i^R = M_i^L, \quad V_i^R = V_i^L \\ \psi_i^R &= \psi_i^L + \frac{1}{k^*} M_i^L \end{aligned} \right\} (2)$$

となる。ここで k^* は回転バネ定数である。式(2)をマトリックス表示すると次のようになる。

$$\begin{pmatrix} w \\ \psi \\ M \\ V \end{pmatrix}_i^R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \frac{1}{k^*} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w \\ \psi \\ M \\ V \end{pmatrix}_i^L \quad (3)$$

数値計算は格間伝達マトリックス、質点マトリックス、バネマトリックスなどを中間支点処理およびヒンジ部の処理を行ないながら掛け合わせ境界条件を考慮して振動数方程式を導き、その方程式を解き、固有円振動数 ω を決定した。そして、再び左端より右端に伝達させながらそれぞれのポイントの状態量および固有モードを求めた。図-4に連続桁形式、ヒンジ形式、特殊ヒンジ形式の最も有利と考えられるケーブル配置のたわみの一次固有モードを示している。ヒンジ形式、特殊ヒンジ形式はヒンジ部の折れ角が生じており連続桁形式に比較してかなり劣っている。しかし、特殊ヒンジ形式はヒンジ形式に比較して若干折れ角が改善されている。固有振動数については3形式ともほとんど変化しておらず、ヒンジを設けることによる振動数低下はあまりみられない。

今回、実際に3形式の斜張橋模型を製作し振動実験を行なった。8本のケーブルを左右対称に取り付け、桁に鉛(200g, 300g)を取り付け質量補正を行なった。図-5に実験模型を示している。実験は桁の5点にひずみゲージを貼付し、支点に変位一定(0.35cm)で正弦加振を加え定常状態での動ひずみと振動数を測定した。なお、ケーブル配置は3形式とも同一配置で2種類とした。得られた固有振動数を表-2に示している。3形式とも実験値より理論値が少し大きくなっているがかなり良く一致している。連続、特殊ヒンジ、ヒンジとなるにしたがって固有振動数は低下しているがそれほど大きな減少ではない。

4. おまけ ①今回考えたモデルでは連続桁形式の場合、静的にも動的にも桁を等分するようなケーブル配置が最も有効であった。②特殊ヒンジ、ヒンジ形式では必ずしもそうではなく動的にはヒンジ付近にケーブルを取り付ける配置が最も有効であった。



図-3 弾性回転バネ

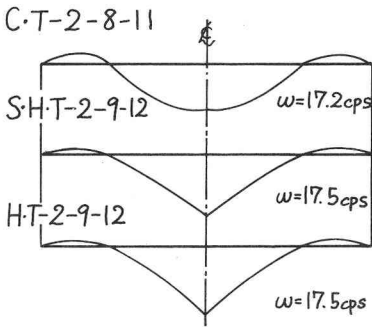


図-4 一次固有モード(たわみ)

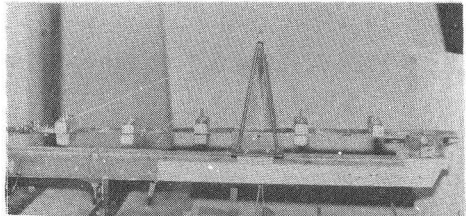


図-5 実験模型

表-2 1次固有振動数

タイプ		理論値	実験値
C・T	51	16.83cps	14.95cps
	57	15.98	15.00
H・T	51	14.26	14.15
	57	14.64	13.55
S・H・T	51	15.02	14.30
	57	15.02	14.40