

## モノケーブル吊橋に関する静力学的研究

大阪大学工学部 正員 小松 定夫  
 大阪大学工学部 正員 西村 宣男  
 大阪大学工学部 正員 ○下村 昭

1. 前書 斜め吊材を有し、減衰効果及び変形特性に著しい特色を持つと思われるモノケーブル吊橋(図-1)についてその力学的性状を明らかにすれば、吊橋の合理的設計が可能になると考えられ、本研究はこうした目的でモノケーブル吊橋に關しその静力学的性状について理論解析を行なった。即ち、吊材の伸縮を考慮し斜め吊材の特性を撓度式の中に入れた基礎式を誘導し Galerkin法により理論解析し、縮尺1/250の模型による静的実験でその妥当性を検討し、併せて鉛直吊材吊橋との構造特性比較を行なった。

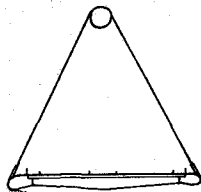


図-1 横断面

## 2. 基礎方程式

載荷によりケーブルは吊材力  $F(x)$ ,  $S(x)$  を受けて変形し、 $x, y$  方向に変位  $u$ ,  $v$  を生ずる。ケーブル張力を  $H(x)$  とすれば、ケーブルの微小要素  $dx$  における力の釣合から(図-2)

$$F(x) = -\frac{dH(x)}{dx} \quad \text{----- ①}$$

$$S(x) = -H(x) \left( \frac{d^2 v}{dx^2} + \frac{d^2 u}{dx^2} \right) - \frac{dH(x)}{dx} \left( \frac{dv}{dx} + \frac{du}{dx} \right) - m_c \quad \text{----- ②}$$

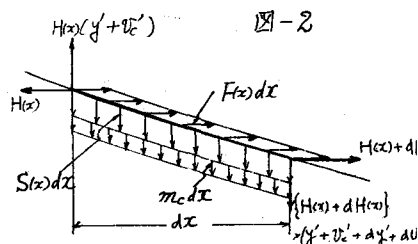


図-2

ケーブルに関する拘束条件として、鉛直吊材吊橋の撓度式第2式で与えられるケーブル変位と付加水平引張力の関係が本吊橋に対しても有効と考える

$$\frac{dv}{dx} = C_1 H_p(x) - \frac{dv_c}{dx} \cdot \frac{du}{dx} \quad C_1 = \frac{A_c^2 \psi}{E_c A_c} \quad \text{----- ③}$$

補剛桁に於て、1パネルに於ける吊材の作用を平均化し分布力(鉛直力、水平力、曲げモーメント)として置換しその微小部分  $dx$  の力の釣合から(図-3)

$$\left. \begin{aligned} E_s I_s v''' - (N v')' + m' &= p(x) + m_s - S(x) \\ \text{但し } N &= \int_0^x F(x) dx \\ m &= -h(x) F(x) \end{aligned} \right\} \quad \text{----- ④}$$

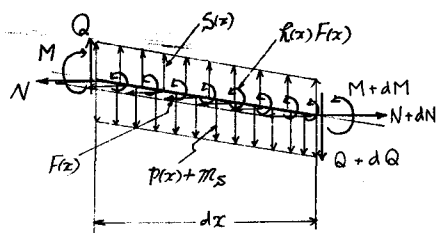


図-3

基礎方程式の誘導に際し、 $v_0 = v_c$  と考え基礎式の簡単化

を図る。今吊材はSingle Warren形式とする。吊材を  $a F(x)$  によりザイルトラス頂点は水平変位  $C_2 F(x)$  ( $C_2 = \frac{E(x)}{a E a A_a}$ ) を生ずるが、この変形量と補剛桁の撓み角を考慮すれば、ケーブルと補剛桁の変形要素間に次式の関係がある。(図-4)

$$u_c = h(x) v_s' - C_2 F(x) \quad \text{----- ⑤}$$

以上より  $H(x) = H_p(x) + H_g$ ,  $H_g h'(x) = m_s + m_c$ ,  $h_T = y + h(x)$  を考慮し式②③④から  $S(x)$ ,  $F(x)$ ,  $m_s$ ,  $m_c$  を消去すると

$$E_s I_s v_s''' - (H_g + H_0) v_s'' + (H_p(x) h'(x))' = p(x) \quad \text{----- ⑥}$$

但し  $H_0 = H_p(0)$ : 支点上に於けるケーブルの活荷重付加水平引張り力

式⑥⑦から  $H_p(x)$  及び  $\frac{1}{2}$  の導函数を消去すると

$$-\frac{h'(x)}{C_1} v_s'' + \left( \frac{h(x)}{C_2} - \frac{h''(x)}{C_1} + \frac{C_1'}{C_1^2} h'(x) \right) v_s' + \frac{u_c''}{C_1} - \frac{C_1'}{C_1^2} u_c' - \frac{u_c}{C_2} = 0 \quad \text{----- ⑦}$$

式⑦⑧が鉛直変位即ち撓みに関する基礎方程式である。

### 3. 基礎方程式の解法

解法に際し単純支持補剛桁を有する単径間のモノケーブル吊橋を想定する。境界条件を満足するように  $v_s$ ,  $u_c$  を正弦級数で表示し、又活荷重  $p$  はフーリエ級数に展開表示し、Galerkin法を適用する。式中の積分項の計算にはSimpson公式を用いる。計算手順としては  $H_0$  を仮定し、その結果算出される  $v_s$ ,  $u_c$  を用いて  $H_0$  を求め仮定値  $H_0$  と照査する。

### 4. 模型実験による基礎方程式の検証

基礎方程式の妥当性を検討する為縮尺  $\frac{1}{250}$  のモノケーブル吊橋模型を製作しこれを用いて各種荷重状態について静的実験を行なったが、代表的荷重について結果を図5~7に示す。

模型諸元及び荷重を示すと表-1になる。理論解析に際し吊材はSingle Warren形式であり、模型ではDouble Warren形式を採用しているが、筆者らの見解では基礎式に於て吊材断面積を2倍に考えれば十分にDouble Warren形式にも適用出来る。従ってモノケーブル吊橋の理論値はDouble Warren形式に於ける値である。又モノケーブル吊橋の構造特性を調べる為鉛直吊材吊橋の理論値を併せ記載した。今回は鉛直変形のみ理論解析したが、採り水平荷重に対する解析は当日述べたこととし、実験値のみ記した。

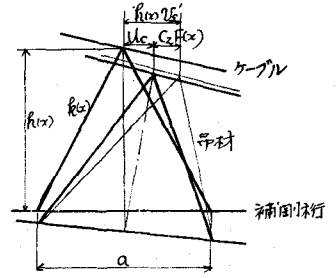


図-4 吊材の変形

表-1

| 径間    | 200 + 400 + 200 cm       |                    |                  |
|-------|--------------------------|--------------------|------------------|
| 主ケーブル | 直 径                      | 0.4                | cm               |
|       | 断面二次モーメント                | $2.1 \times 10^6$  | $\text{kg/cm}^2$ |
|       | 垂 距                      | 40                 | cm               |
| ハンガー  | 直 径                      | 0.2                | mm               |
|       | 断面二次モーメント                | $2.1 \times 10^6$  | $\text{kg/cm}^2$ |
|       | 取付間隔                     | 10                 | cm               |
| 補剛桁   | 曲げ剛性                     | $1.14 \times 10^5$ | $\text{kg/m}^2$  |
| 支塔高さ  | 52 cm                    | 橋幅                 | 12 cm            |
| 死荷重   | $m_c = 0.1$ $m_g = 0.32$ |                    |                  |
| 活荷重   | $p = 0.1$                |                    | $\text{kg/cm}$   |

図-5 鉛直荷重作用下のモノケーブル吊橋と鉛直吊材吊橋の構造特性比較図

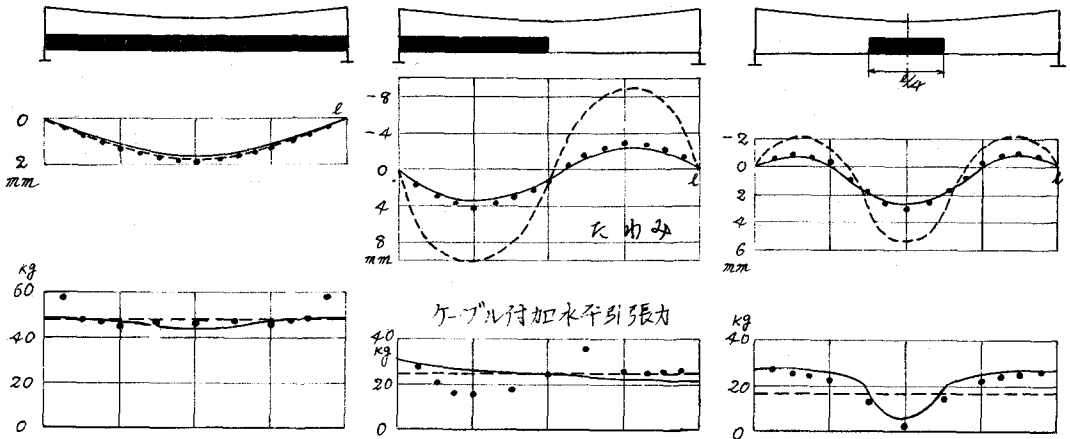


図-6 横荷重作用下のモノケーブル吊橋と鉛直吊材吊橋の構造特性比較図

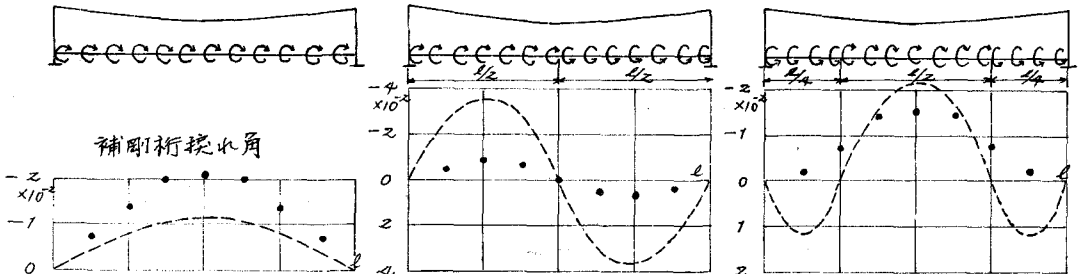
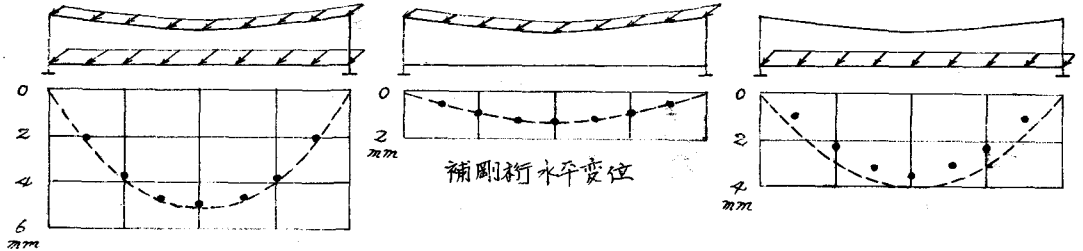


図-7 水平荷重作用下のモノケーブル吊橋と鉛直吊材吊橋の構造特性比較図



— モノケーブル吊橋理論値    • モノケーブル吊橋実験値    --- 鉛直吊材吊橋理論値

## 5. 結論

- 1) 鉛直荷重に対し理論値と実験値が比較的一致していることから理論考察に大きな誤りはなく、式(4)を用いてモノケーブル吊橋の設計計算に十分役立つと思われる。
- 2) モノケーブル吊橋は鉛直吊材吊橋に比して、非対称対称部分集中荷重に対し撓み曲げモーメントが著しく減少することから、実用に際し補剛桁自重の軽減が図れる。
- 3) モノケーブル吊橋は斜吊材主ケーブル補剛桁により断面断面を構成され、その振特性はDouble cable吊橋とかなり異なる。Double cable吊橋と立体トラスの中間構造物と考えられる。
- 4) 基礎方程式(4)の係数を若干変えるといわゆるセバーンタイプの吊橋の解析に適用できる。