

I-90 斜張橋の耐震特性について(第2報)

北海道大学工学部 正員 渡辺 昇
岩手大学工学部 正員 O宮本 裕

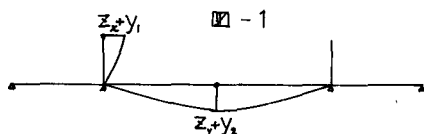
1. まえがき 水平地震波と垂直地震波との連成による斜張橋の応答を計算した。例として石狩河口橋の断面を用い、塔の下端の構造をヒンジ構造や固定構造にしたり、斜索の張り方をハーア型にしたりからかさ型にしたり、斜索本数を変えたりしたいろいろな型式の斜張橋を考えた。

また外力として周期の異なる正弦波を選び曲げモーメント応答値の最大値を求め、外力の周期と曲げモーメント応答値の最大値との関係を表わした「応答曲げモーメントスペクトル」図を作った。この図により、斜張橋の各型式毎の振動応答性状を考察した。

2. 多自由度系の応答理論 図-1のような2自由度系構造物を考える。地震外力が水平方向に $\ddot{x}_g = \ddot{x}$ 、垂直方向に $\ddot{y}_g = 0.5\ddot{x}$ あるとすると、振動の連立微分方程式は式(1)のようになる。この式の解は水平地震波のみによる微分方程式の解と、垂直地震波のみによる微分方程式の解との合計に等しい。

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & 0.5m_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{x} \end{bmatrix} \dots\dots (1)$$

ここで、質量 m_1, m_2 , 減衰定数 $C_{11}, C_{12}, C_{21}, C_{22}$, ばね定数 $K_{11}, K_{12}, K_{21}, K_{22}$ とすれば、ばね定数の行列はたわみの影響線の行列の逆行列である。



いま、基準座標 $\{q\}$ 、固有ベクトル $\{X\}$ を用

い、 $\{y\} = \{X\}\{q\}$ とすると、これを式(1)に代入し固有ベクトルの直交性を適用すると、結局式(2)のようになる。ここで、 h_1, h_2 は減衰定数であり、 ω_1, ω_2 は固有値であり、 β_1, β_2 は刺激係数である。

$$\left. \begin{aligned} \ddot{q}_1 + 2h_1\omega_1\dot{q}_1 + \omega_1^2 q_1 &= -\beta_1 \ddot{x} \\ \ddot{q}_2 + 2h_2\omega_2\dot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 &= -\beta_2 \ddot{x} \end{aligned} \right\} \dots\dots (2)$$

式(2)を解き応答変位 q_1, q_2 を求め、時間で2度微分すれば応答絶対加速度 ($\ddot{q}_1 + \beta_1 \ddot{x}$)、($\ddot{q}_2 + \beta_2 \ddot{x}$) が式(3)のように求められる。

$$\ddot{q}_i + \beta_i \ddot{x} = \beta_i \frac{\omega_i}{\sqrt{1-h_i^2}} \ddot{x}(t) e^{-h_i \omega_i (t-\tau)} \cos\{\sqrt{1-h_i^2} \omega_i (t-\tau) + \tan^{-1} \frac{2h_i-1}{2h_i\sqrt{1-h_i^2}}\} d\tau \dots\dots (3) \quad (i=1,2)$$

したがって、式(4)から、真の応答絶対加速度 ($\ddot{y} + \ddot{x}$) を求めることができる。

$$\begin{bmatrix} \ddot{y}_1 + \ddot{x} \\ \ddot{y}_2 + \ddot{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} \\ X_{21} & X_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q}_1 + \beta_1 \ddot{x} \\ \ddot{q}_2 + \beta_2 \ddot{x} \end{bmatrix} \dots\dots (4)$$

このようにして求めた応答絶対加速度に質量を乗じた慣性力 $m_1(\ddot{y}_1 + \ddot{x})$, $m_2(\ddot{y}_2 + \ddot{y})$ を構造物に働らく荷重と考え、影響線に乗ずると、地震外力による曲げモーメント、せん断力、軸力などの断面力の応答値を計算することができる。

3. 斜張橋の断面諸元と質量分布

応答計算に用いた斜張橋の断面諸元は図-2, 質量分布は表-1, 図-3のとうりである。斜張橋の型式はこの図のような塔の下端の構造がヒンジ塔であるからがさ型, ハーア型, 斜索4本ハーア型, 斜索8本ハーア型の4種類の他に塔の下端の構造が固定塔であるからがさ型, ハーア型, 斜索4本ハーア型, 斜索8本ハーア型の4種類の合計8種類を考えた。

また, 応答計算をするにあたり, 次のような条件を与えた。

- (1) 桁に13, 塔に4の計17質点, 17自由度の系に置換する。
- (2) 第17次までの固有ベクトルを考慮する。
- (3) 動的解析法は直接数値積分法を採用した。外力の波形は10種類の正弦波を考へ, その周期は0.1秒, 0.2秒, 0.3秒, 0.4秒, 0.5秒, 0.6秒, 0.7秒, 0.8秒, 0.9秒, 2.0秒である。また $\Delta T = 0.02$ 秒, 正弦波の継続時間は6秒間とし, 自由振動の時間をその後6秒間とする。

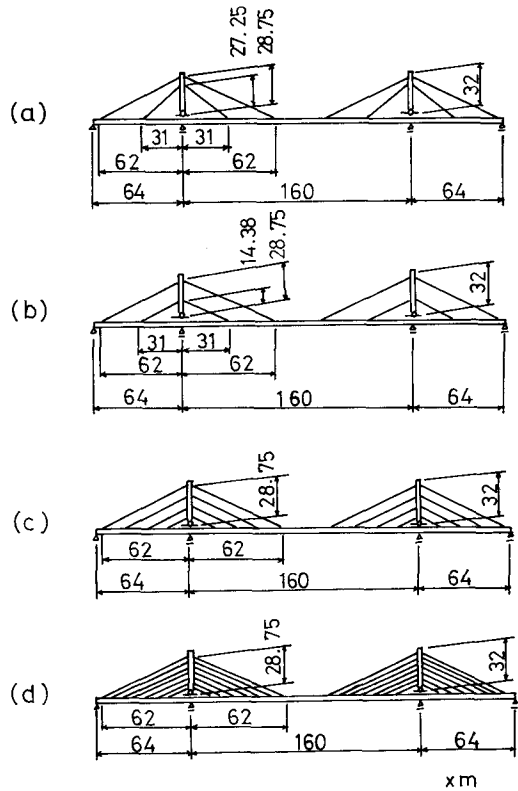
- (4) 地震波の最大加速度は水平方向に100gal, 鉛直方向には50galとする。

- (5) 塔と補剛桁の連成振動を考へるために振動の微分方程式の右辺の項の m として, 桁上の質点の質量にすべて0.5をかけ, 塔上の質点の質量はそのままの数値を用いる。

- (6) 減衰定数(η)は $\eta = 0.008$ と仮定する。

4. 斜索本数と第1次固有周期との関係

いま塔の下端の構造がヒンジ塔でハーア型の斜張橋において, 斜索本数を増してゆくと第1次固有周期がどのように変化するかを表わしたものが図-4である。ここで斜索1本の断面積は $A_c = 50 \text{ cm}^2$ と $A_c = 194.4 \text{ cm}^2$ の場合を考へている。



$$EI = 0.7058 \times 10^{14} \text{ kg cm}^2$$

$$EI_t = 4.83 \times 10^3 \text{ kg cm}^2$$

$$E_c A_c = 3.888 \times 10^8 \text{ kg}$$

図 - 2

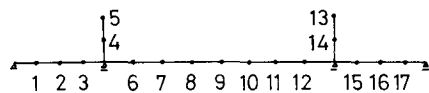
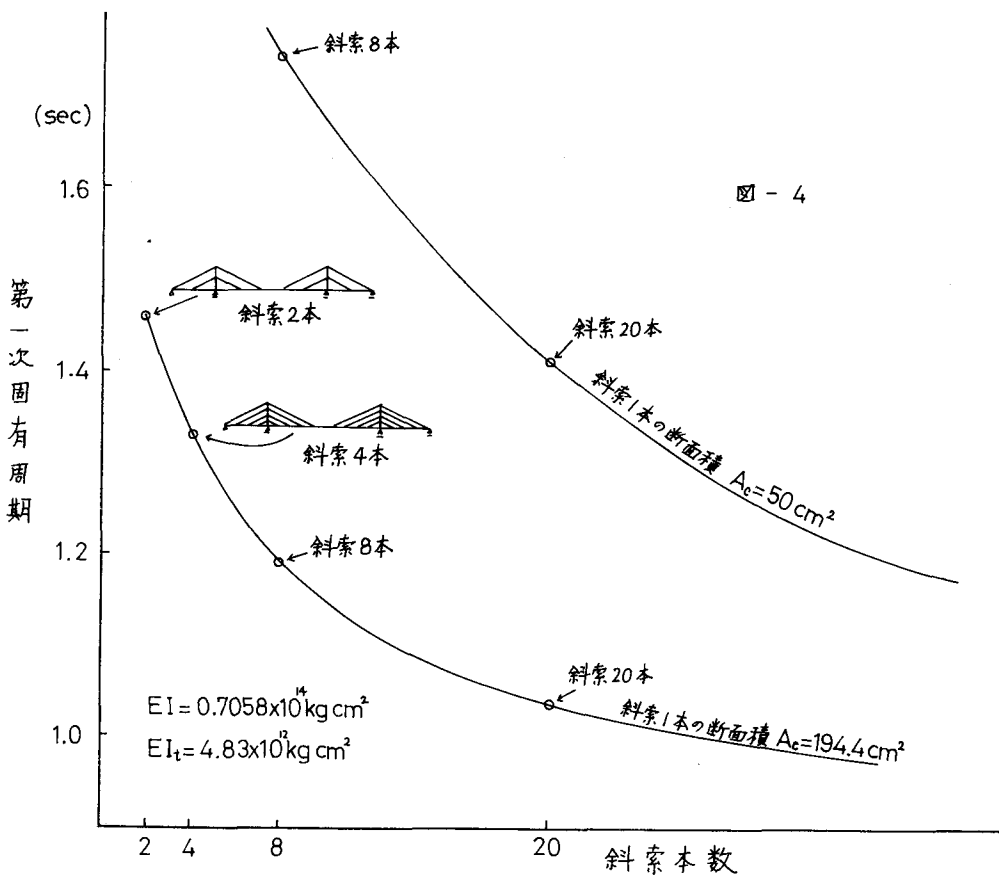


図 - 3

m_1	126	m_6	157	m_{11}	161	m_{16}	129
m_2	129	m_7	161	m_{12}	157	m_{17}	126
m_3	126	m_8	163	m_{13}	81	$\times \text{kg} \cdot \text{sec}^2 / \text{cm}$	
m_4	128	m_9	157	m_{14}	128		
m_5	81	m_{10}	163	m_{15}	126		

表 - 1



なお斜索の弾性係数は $E_c = 2.0 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ とする。

5. 応答曲げモーメントスペクトル

いま、一例として、図 - 5 のように
 ヒンジ塔からガサ型の斜張橋に、周期
 2 秒の正弦波を 6 秒間入れたときの点
 2 における応答曲げモーメント - 時間
 曲線を計算により描く。そこで、これ
 からその最大応答曲げモーメント 32
 $\times 10^6 \text{ kg cm}$ を読みとることができる。
 (図 - 6 参照) このようにして、外力
 の正弦波の周期を 0.1 秒, 0.2 秒, 0.
 3 秒と変えてゆき、その最大応答曲げ
 モーメントの値を読みとり、その軌跡
 を図示したものを、「応答曲げモー
 メントスペクトル」と呼ぶことにする。

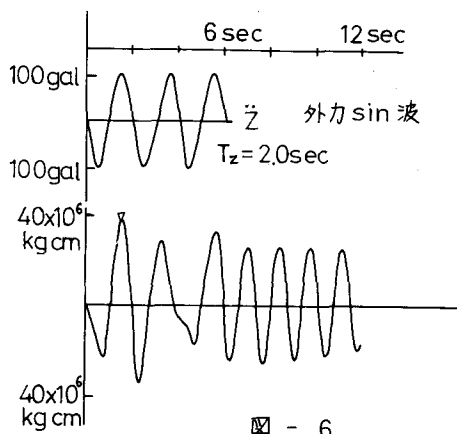
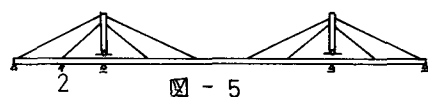


図-7はヒンジ塔の場合の中央径間中央点における、ハーブ型とからかさ型の斜張橋の応答曲げモーメントスペクトルである。この図から、ハーブ型のほうが一般にからかさ型よりも応答曲げモーメント値が大きいと言えよう。

また、図-8はヒンジ塔の場合の中央径間中央点における、ハーブ型斜張橋で斜索本数を変えたときの応答曲げモーメントスペクトルである。この図から、この計算の場合は斜索本数が4本のときが一番応答曲げモーメント値が小さいと言えよう。

6. あとがき

図-2のような断面のいろいろの型式の斜張橋について、ばう大な量の応答計算を電子計算機を用いて行ったが、計算された任意の瞬間の応答値は式(1)を満足し、また任意の瞬間の断面力の応答値をひろって、塔と桁のどこで切断しても、釣り合いが成り立つことが確かめられたので、計算としては正しいと言えよう。

なお、計算には北大の大型計算機 FACOM 230-60 を用いた。10種類の正弦波を外力にした応答計算の時間は約1時間を要した。

参考文献

渡辺・宮本：斜張橋の耐震特性について，第25回 年次学術講演会

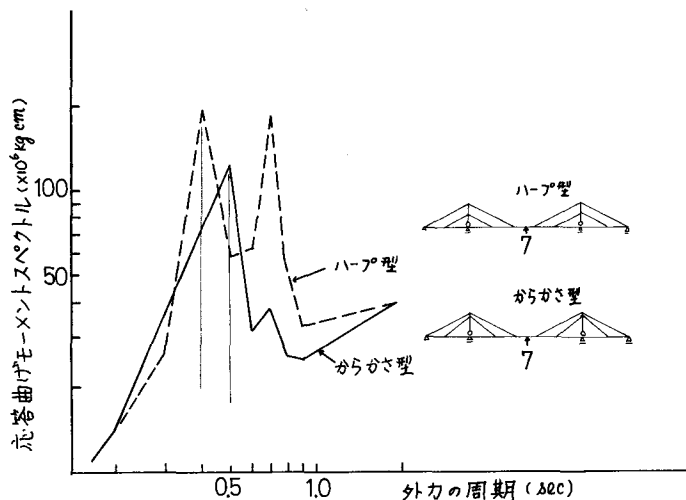


図-7

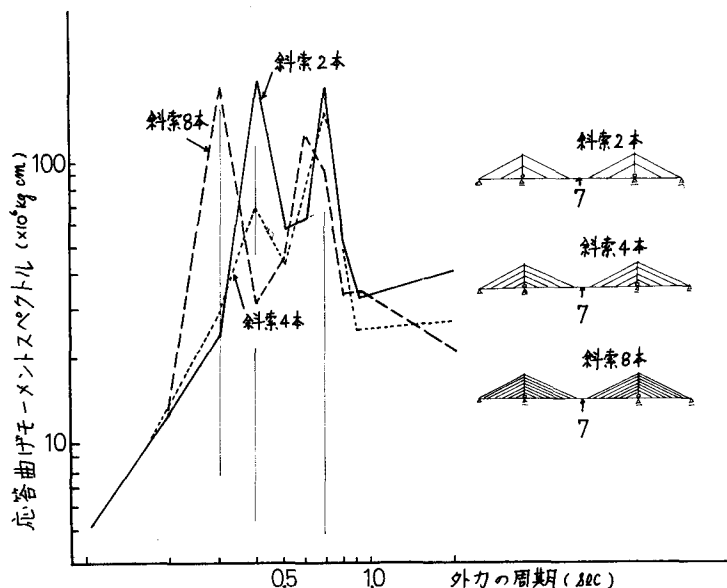


図-8