

法政大学 正員 大地 幸三
 川田工業(株) 正員 O板橋 啓治
 川田工業(株) 正員 前田 研一

1. まえがき

吊橋の耐風安定性は種々の要素例えば構造の剛性、補剛桁の形状、橋床の型等によつて影響を受けるが、構造減衰の大きさにも依存する。したがって吊橋の制振を考える場合、構造形状や構造の剛性を高めることを考えることの他、構造減衰を増加させることが考えられる。本文は、吊橋に減衰器(ダンパー)を設置することによって構造減衰量を増大し、補剛桁の共振風速を増すことにより吊橋の耐風安定性を向上させる方法について考察を加えたものである。従来この種の研究は、吊橋を平面モデルかあるいは自由度を限定した梁モデルとして取扱っているものが大部分であるが、ここでは吊橋を有限変位理論に基づいて立体構造としてモデル化して立体振動モードを算出し、構造各部の相対変位から、所要の構造減衰量を確保するための減衰器の設置位置や設置量について算定する方法を試案する。例題として単径間吊橋の主としてネジリ振動を制振させる場合を検討した結果について報告する。

2. 計算方法

本解析にあたっては 1) 減衰力は速度に比例する。2) 吊橋は死荷重によって平衡状態にあり、補剛桁は無能力である。3) 減衰器設置によって基準振動形は変わらない等を仮定した。解析方法は吊橋を多質点モデルと仮定し(1)から固有振動数ならびにモードを求める。この際使用する剛性行列は有限変位理論に基づく(2)のようになる。ここで減衰器の変位を(3)で表すと、吊橋の1周期で消散するエネルギーは(4)となり、付数減衰率、最大運動エネルギーが各々(5)、(6)で示されること及び最大運動エネルギーと最大ポテンシャルエネルギーの等価性を用いると(7)が求まる。これから吊橋の所要の付数減衰率に対して減衰器の所要の減衰係数が求まる。なお減衰器の設置位置はいろいろ考えられるが、今回は図-1に示したようなものを対象とした。

3. 計算例

図-2に示すような単径間吊橋モデルに対して本方法を適用した。構造の付数減衰率 δ を0.1、補剛トラスの最大ネジリ角を 5° と設定してネジリ振動を制振するための所要減衰係数を算出した。表-1は各減衰器に対する所要減衰係数を示したものであり、図-3~5はネジリに関するモードを図示したものである。所要減衰係数が求まれば、減衰器の特性を考慮して所要の個数を決定できる。

$$[K - \omega^2 M] = 0 \quad (1)$$

$$[k_m] = \frac{EA}{L_0} \begin{bmatrix} k_1 - k_1 \\ \text{sym. } k_1 \end{bmatrix} + \frac{N}{L} \begin{bmatrix} k_2 - k_2 \\ \text{sym. } k_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$[k_1] = \begin{bmatrix} C_x^2 & C_x C_y & C_x C_z \\ C_y^2 & C_y C_z \\ \text{sym.} & C_z^2 \end{bmatrix}, \quad [k_2] = \begin{bmatrix} 1 - C_x^2 & -C_x C_y & -C_x C_z \\ 1 - C_y^2 & -C_y C_z \\ \text{sym.} & 1 - C_z^2 \end{bmatrix} \quad (2')$$

$$U_i = U_i \sin \omega t \quad (3)$$

$$\Delta W = \sum_{i=1}^K \int_t^{t+T} C_i \dot{U}_i du = \sum_{i=1}^K \int_t^{t+T} C_i \dot{U}_i^2 dt \\ = \sum_{i=1}^K C_i U_i^2 \omega \pi \quad (4)$$

$$\delta = \log \left(\frac{\chi_t}{\chi_{t+T}} \right) = \frac{\Delta \chi_t}{\chi_t} = \frac{\Delta W}{2W} \quad (5)$$

$$T = \frac{1}{2} \omega^2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^3 m_i a_{ij}^2 \quad (6)$$

$$\delta = \sum_{i=1}^K C_i U_i^2 \omega \pi / \omega^2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^3 m_i a_{ij}^2 \quad (7)$$

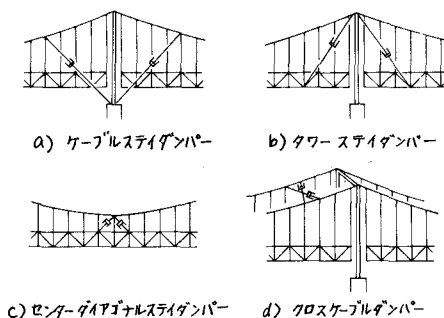


図-1 減衰器設置位置

表-1 減衰器所要減衰係数

モード	円振動数 ω [rad/s]	減衰器 設置位置	減衰器 振幅 U [m]	減衰器 最大減衰 ωU [m/s]	$U^2 \omega^2$	$\delta \omega^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n m_i a_{ij}^2$	所要減衰 係数 C [t/m/s]
対称ネジリ(5次)	2.002	センター・グアイ ジャール・ステイ	0.0023	0.0046	3.33×10^{-5}	140.6	—
		ケージル・ステイ	0.0623	0.1247	0.0244		5762
		クワース・ステイ	0.0713	0.1427	0.0320		4394
		クロス・ケージル	0.1275	0.2553	0.1022		1376
逆対称ネジリ(6次)	2.063	センター・グアイ ジャール・ステイ	0.1752	0.3614	0.1989	259.3	1304
		ケージル・ステイ	0.4297	0.8864	1.1969		217
		クワース・ステイ	0.3025	0.6240	0.5931		437
		クロス・ケージル	0.1403	0.2894	0.1276		2032

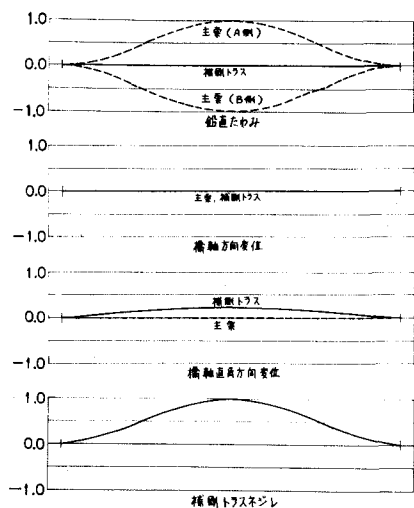


図-3 ネジレモード(5次)

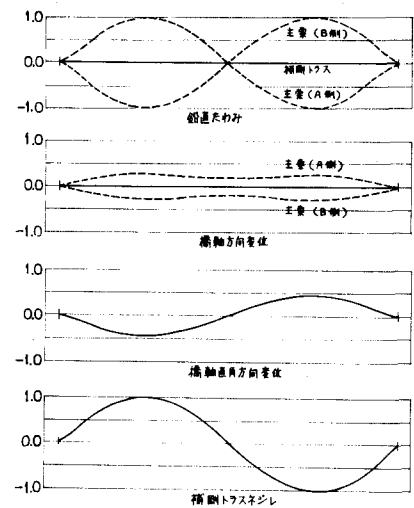


図-4 ネジレモード(6次)

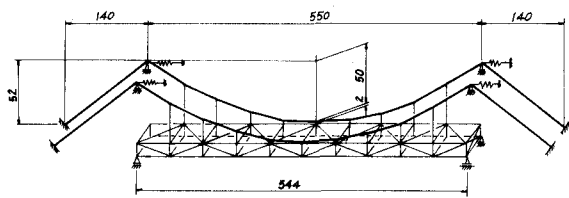


図-2 解析モデル

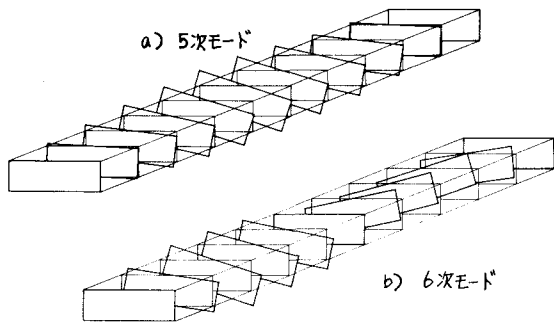


図-5 補剛トラスネジレモード

4. あとがき

以上吊橋に減衰器を設置して制振する場合の、所要の減衰量を算定する方法について述べた。なお本論文の手法は東北大倉西茂著の文献1)の考え方を基本にしており、その手法を応用したものである。また本文を作成するにあたり川田工業技術本部藤井堅氏の協力を得た。記して謝意を表する。

《参考文献》

- 1) 倉西茂 「ダンパーによる吊橋のたわみ振動の制振について」 土木学会論文集才142号(5.42.6)
- 2) 大地羊三 「構造解析とコンピュータ」 産業図書(546.5)
- 3) 大地・板橋 「有限変形法による立体骨組構造の大変形解析」 土木学会才29回年次学術講演会概要集(549.10)