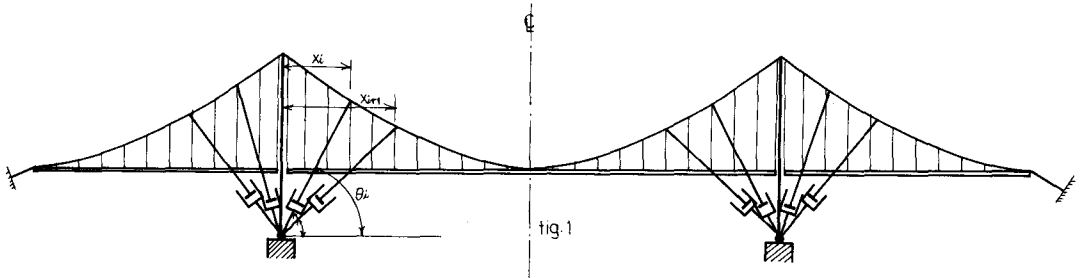


I-159 ケーブルステイダンパーをもつ吊橋の強制振動について

東北大学工学部 正負 倉西 茂, 東北工業大学 正負 高橋龍夫

吊橋の振動制御をダンパーを用いて行なうために着着等はすでに数編の論文あるいは研究成果を発表し、ダンパーの振動制御に対する効果を証明しつつある。本編はこれ等のダンパーの中でも最も実用的なダンパーの一種でありかつ制御効果の大きいと考えられるケーブルステイダンパーをとりあげ、主として三径間吊橋のたわみ振動に対するダンピング効果について考察したものであり、模型吊橋にケーブルステイダンパーを取り付け、正弦波状外力を加えた場合の定常振動に関する実験値等をあげダンパーの効果を証明しようとするものである。

ケーブルステイダンパーとは fig.1 に示されるように吊橋ケーブルから橋台附近にとりつけられたステイにダンパーを組み入れたものであり、ここで扱うダンパーは速度に比例した粘性抵抗力をもつものである。



ダンピング効果の概算。次の仮定を設けてダンパーの効果を考える。(1). ケーブルステイダンパーは対称にとりつけられている。(2). ケーブルステイの伸びの影響は考慮しない。(3). ダンパーによる吊橋の振動形状の変化は小さいものとして考えない。(4). 吊橋ケーブルたわみ補剛桁の鉛直方向の変位を $y(x)$ 、ケーブルの水平方向の変位を x_i とした時、ダンパーの動き Y_0 は、 $Y_0 = x_i \sin \theta_i + \dot{x}_i \cos \theta_i$ と考える。吊橋のたわみ振動形状を $y(x)$ 、(側径間には添字 1 をつけて区別、 $y_1(x)$) とすれば、 $Y_0 = y_1(x) \sin \theta_i + \dot{x}_i \cos \theta_i$ 。

吊橋が振動形状 $y(x)$ で、 $g(x) = e^{-\alpha x} \sin(\omega t - \varphi)$ なる調和減衰振動を行なうとすれば、吊橋の 1 サイクルに消費したエネルギー E_1 とケーブルステイダンパーが 1 サイクルに吸収したエネルギー E_2 を等置することにより次式を得る。

$$\frac{m_0}{2} \int_0^L \left[\frac{\partial \{ y_1(x) (g(x_0) - g(x - \frac{\pi}{\omega})) \}}{\partial t} \right]^2 dx + 2 \times \frac{m_0}{2} \int_0^L \left[\frac{\partial \{ y_1(x) (g(x_0) - g(x - \frac{\pi}{\omega})) \}}{\partial t} \right]^2 dx$$

$$= 2 \sum_{i=1}^n C_i \int_0^{\frac{\pi}{\omega}} \left\{ \frac{\partial (y_0 g(x))}{\partial t} \right\}^2 dt + 2 \sum_{i=1}^n C_i \int_0^{\frac{\pi}{\omega}} \left\{ \frac{\partial (Y_0 g(x))}{\partial t} \right\}^2 dt \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 m_0 は吊橋の単位長さ当りの質量、 C_i はケーブルステイダンパーのダンピング力係数とする。

(1)式より、対数減衰率 δ とダンピング力係数 C_i との関係は次の式で表わされる。

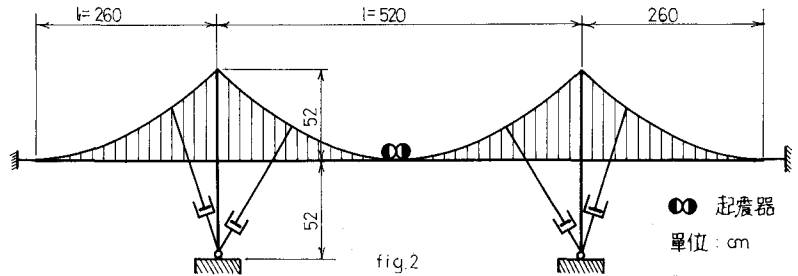
$$\delta = \frac{2\pi \left[\sum_{i=1}^n C_i \left\{ \frac{\partial y_D(x=i)}{\partial t} \right\}^2 + \sum_{i=1}^n C_i \left\{ \frac{\partial y_D(x=i)}{\partial t} \right\}^2 \right]}{\omega \left[m_0 \int_0^l \dot{y}(x)^2 dx + 2m_0 \int_0^l \dot{y}_i(x)^2 dx \right]} \quad (2)$$

又、 $P \sin \omega t$ なる正弦波外力をうけて吊橋が $y(x) \sin(\omega t - \delta x)$ なるかたちで定常振動を行っているとおれば、外力が1サイクルに供給するエネルギー E_3 は、ダンパーが1サイクルに吸収するエネルギーに等しいことから、外力の作用点を $x=j$ として次式を得る。

$$\int_0^{2\pi} P \sin \omega t \left\{ \frac{\partial y(x) \sin(\omega t - \delta x)}{\partial t} \right\} dt = 2 \left[\sum_{i=1}^n C_i \int_0^{2\pi} \left\{ \frac{\partial y_D(x=i) \sin(\omega t - \delta x_i)}{\partial t} \right\}^2 dt + \sum C_u \int_0^{2\pi} \left\{ \frac{\partial y_D(x) \sin(\omega t - \delta x)}{\partial t} \right\}^2 dt \right]$$

模型実験、実験に用いた模型吊橋の諸元は次の通りである。

補剛桁の曲げ剛性
 $EI = 4.76 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
 単位長さ質量
 $\gamma = 0.316 \text{ kg/cm}$
 $E_c A_c = 1.64 \times 10^5 \text{ kg}$



(2),(3)式で、 $y(x) \sin \theta_i \gg x_i \cos \theta_i$, $y_0 = y(x) \sin \theta_i$, $y(x) = a_1 \sin \frac{\pi}{l} x + a_3 \sin \frac{3\pi}{l} x$,

$y_i(x) = a \sin \frac{\pi}{l} x$, $C_i = \text{Constant} = C$ とすれば(2)式は次のように書ける。

$$\delta = \frac{2\pi C \left[\left\{ a_1 \sin \frac{\pi}{l} x + a_3 \sin \frac{3\pi}{l} x \right\}^2 + \left\{ a \sin \frac{\pi}{l} x \right\}^2 \right]}{\omega m l (a_1^2 + a_3^2 + a^2)}$$

又、 $y(x=j) = d_i \cdot y(x=i)$, とすれば(3)式より次の式を得る。

$$y_{(j)} = \frac{P \sin \delta_j}{4 C \omega d_i^2} \quad (3)$$

但し、模型では $(a_1 \sin \frac{\pi}{l} x + a_3 \sin \frac{3\pi}{l} x) \sin \theta_i$ が $a \sin \frac{\pi}{l} x \sin \theta_i$ に等しくなるようにしてある。

fig.3 は対称一次振動に関する δ の実験値と計算値を比較したものであり、fig.4 は中央径間 $\frac{1}{2}$ 点に $P \sin \omega t$ の外力を加えた場合の共振曲線(実験値)の一部を示した。

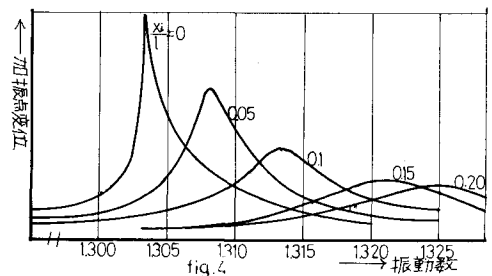
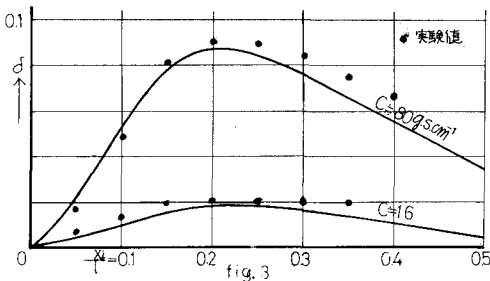


fig.3, fig.4 よりケーブルステイダンパーの取りはけによる吊橋の見かけ上のたわみ剛性の若干の増加がみとめられるが、ケーブルステイダンパーの振動制御効果は明白に知ることが出来る。尚、実験の詳細、其の他の実験値等については当日述べる予定である。