

京都大学工学部 正員 小西 一郎
 京都大学工学部 正員 白石 成人
 京都大学大学院 学生員 大石 久和

1. 基礎方程式

斜めハンガーつり橋は近年セバン橋にその例をみるが、米国の Steinman 等は一部のつり橋構造に適用しその減衰効果、補剛効果が向上することを報告している。著者らは、これまで、これらの斜めハンガーによる効果を定量的に把握するため、大型模型を作成し実験を行なってきてその結果、斜めハンガー形式と鉛直ハンガー形式とでは局所的な変形性状の違いはなく、構造系としての Stiffness あるいは Damping Capacity の差が存在すると考えるのが妥当であることがわかり、いわゆる鉛直ハンガーつり橋に関する撓度理論を修正する形で次の基礎方程式を誘導した。

$$(EI\eta''') - \{ (H_g + H_p + \Delta_0 h) \eta' \}'' + H \eta'' = p - m\ddot{\eta} \quad (1)$$

$$\frac{H_p}{E_c A_c} \int_L \left(\frac{d\alpha}{dx} \right)^2 dx = \pm \alpha + T \int_L \left(\frac{d\alpha}{dx} \right)^2 dx + \left\{ h'' + \frac{\Delta_0}{E_c A_c} \left(\frac{d\alpha}{dx} \right)^2 \right\} \eta dx \quad (2)$$

ここに、 $\Delta_0 = \frac{2EA_1}{d^2} h e^2 = \frac{2EA_1}{E} \cos\beta \sin^2\beta$ であり、斜めハンガー効果を示すパラメーターである。また、 η は補剛桁のたわみ、 EI は曲げ剛性、その他 H_g, H_p 等は通常の撓度理論で用いられている物理量である。なお

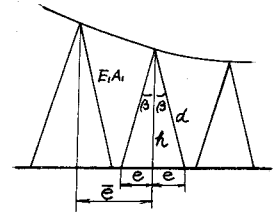


図-1

上記の式(1)、(2)は Simplify された Single Warren 形式のハンガー形式であるが、Double Warren 形式の場合には、式(2)の Δ_0 のみに $2\Delta_0$ を代入すればよいことになる。この基礎方程式の結果を 3000 + 8,600 + 3000 の三径間つり橋模型について静的載荷実験結果と比較すれば、図-2、3 に示すようであり、その変形特性をよく示しているものと考えられる。

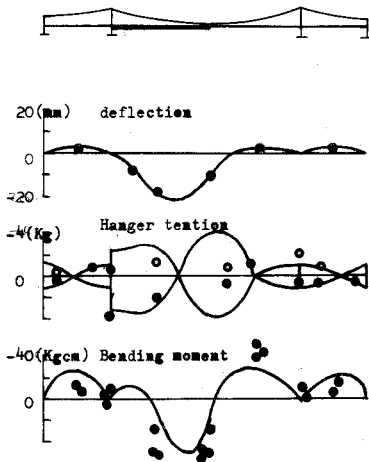


図-2

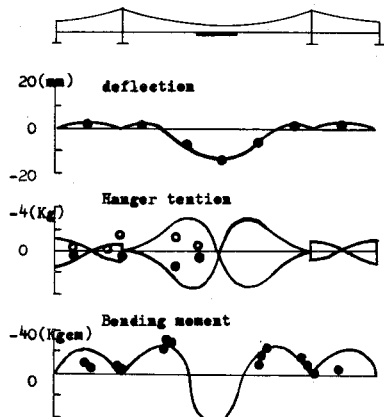


図-3

2. 自由振動特性

斜めハンガーつり橋の一つの特徴としてその減衰性があげられているが、橋梁構造の減衰性は影響する因子が多く、これを定量的に正確に把握することは極めて困難なようである。現在実験中の模型について斜めハンガー形式の場合、振巾-減衰率図を示せば図-4に示すようであり、小振巾の場合のバラツキは認められるが、増加するとほぼ一様となり、粘性減衰の影響が支配的のように考えられる。また対称一次モードを励起させた場合の中央径周センターにおけるたわみの記録の一例を図-5に示す。

さて式(1),(2)を用いて単径周 Single Warren 形式の場合に $\eta = \sin \frac{n\pi x}{l}$ として固有振動数を求めれば、一次 ($n=1$) 二次 ($n=2$) は、

$$\omega_1^2 = \frac{\pi^4 EI}{m l^4} \left(1 + \frac{1}{\pi^2} \frac{H g l^2}{EI} \right) + \frac{512 f^2}{\pi^2 m l^3 L E} \int_L \left(\frac{d\eta}{dx} \right)^3 \sin \frac{\pi x}{l} dx + \Delta_0 \left[\frac{2\pi^2}{m l^3} \int_L h \sin \frac{2\pi x}{l} dx + \frac{32 f}{\pi m l^2} \int_L \left(\frac{d\eta}{dx} \right)^3 dx \right]$$

$$\omega_2^2 = \frac{16\pi^4 EI}{m l^4} \left(1 + \frac{1}{4\pi^2} \frac{H g l^2}{EI} \right) + \Delta_0 \left[\frac{8\pi^2}{m l^3} \int_L h \sin \frac{2\pi x}{l} dx \right]$$

となる。ここに Δ_0 は前記のパラメータである。

単径周 (Double Warren 形式) の場合、同程度の近似式を求めれば

$$\omega_1^2 = \frac{\pi^4 EI}{m l^4} \left(1 + \frac{H g l^2}{\pi^2 EI} \right) + \frac{512 f^2}{m \pi^2 l^3 L E} + \Delta_0 \left[\frac{2\pi^2}{m l^3} \int h \sin \frac{2\pi x}{l} dx + \frac{64 f}{\pi m l^2} \int \left(\frac{d\eta}{dx} \right)^3 \sin \frac{\pi x}{l} dx + \frac{\pi}{m l^2} \int h' \sin \frac{2\pi x}{l} dx \right]$$

$$\omega_2^2 = \frac{16\pi^4 EI}{m l^4} \left(1 + \frac{H g l^2}{4\pi^2 EI} \right) + \Delta_0 \left[\frac{8\pi^2}{m l^3} \int h \sin \frac{2\pi x}{l} dx + \frac{2\pi}{m l^2} \int h' \sin \frac{\pi x}{l} dx \right]$$

となり、いずれも $\Delta_0 = 0$ が鉛直ハンガー形式の場合に対応する。なお上記より Single Warren 形式、Double Warren 形式となるにつれて固有振動数が増加することが認められ、その値は従来の結果をよく説明するものである。詳しい実験結果は、講演当日報告する。

3. 結論

斜めハンガー形式つり橋の基礎方程式は、式(1),(2)によって表わしうる事が、模型実験結果より確かめられたが、斜めハンガーの効果の補剛剛性の増加は、いわゆるトラス効果ではなく、はりのせん断抵抗、すなわち等価 Shear Beam による補剛効果と考えるのが妥当である。つまり、その静的動的特性は、鉛直ハンガー形式つり橋の撓度理論の修正により表わすことが可能であると考えられる。

文献

- 1) D.B. Steinman ; American Scientist, Vol. 42, No.3, July, 1954
- 2) 小西・白石・深井・飯田 ; 土木学会関西支部講演会 1968

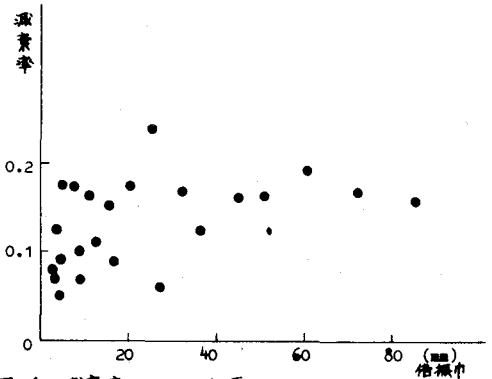


図-4 減衰率-振巾関係図

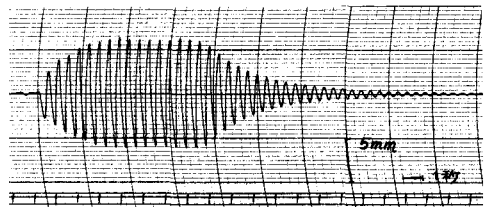


図-5