

九州大学 正員 小坪 清真
 学生員 〇島野 清
 〃 中野 賢一

1. はじめに

近年、土木構造物の分野に於いて、特に橋梁の規模は年々長大化されつつある。その中でも、現在建設中の関門架橋や、計画中の中国四国連絡橋など吊橋にその威が深い。

大体に於いて、単独支持橋や短スパンを有する橋梁の各支点が異なる地震波をうける時の橋桁の応力は、従来、各次数のモードを重ね合せて求める *Modal Analysis* で適確な計算値が得られ、十分その適用性が確認されている。しかし、吊橋に於いては *Modal Analysis* の適用が確認されていないのが現状である。それは、吊橋がケーブルと桁との組み合わせによる複雑な挙動をするので単に橋桁だけを考慮して計算出来ないからである。

そこで、我々は吊橋の各支点が橋軸直角水平方向に異なる地震波をうける場合の吊橋の応答解析に *Modal Analysis* が適用できるかどうかを調べるために、三径間連続桁を有する吊橋の模型実験を行ったのである。

本論はその実験のオーダ段階である吊橋の各次数の固有円振動数を求めた実験報告である。

2. 実験装置及びその概要

a. 材料

アルミ版 (厚さ 3mm)、真ちゅう棒 (7mm 角) → 桁用
 鈎用ワイヤー (メインロープとハンガー用)
 鉄筋 (中 22mm 鈎り用), (中 9mm タワー用)
 バアリンタ (メインロープの支え用と支束用)
 板バネ (支点 A に於いて外乱を加えられるように)
 コンクリート (タワー、支点の基礎用)
 接着材 (アラレタイト)

図-2 断面図

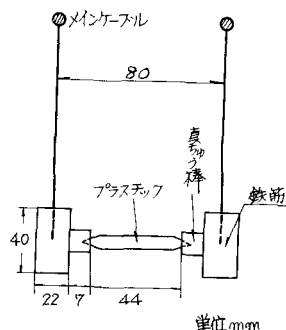
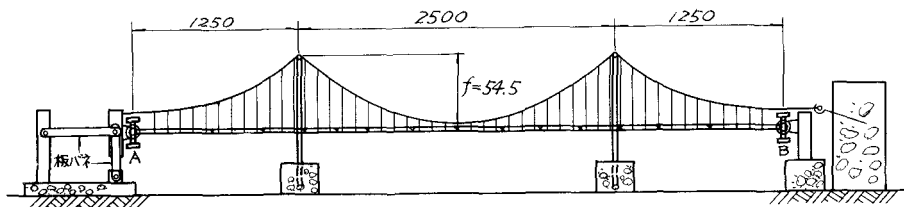


図-1 吊橋 全図

単位 mm



b. 概要

まず、各支点が移動しないようにコンクリートで固めて、位置を決定し、次にメインロープを荷室が一様に掛かって放射線になるようにしなければならぬ。スパン長と寸法が分かっているから、放射線が決まる。そこで、計算によって橋桁上で寸度ハンガーの間隔が10cmになるよう、メインロープの曲長と、ハンガーの長さを求める。そうして求めた長さにはハンガー用の釣用ワイヤーを切り、長さ4cmに切った中22mmの鉄筋の上面に穴をあけ、そのワイヤーを接着して置き、それをハンカでメインロープに接着した。そのようにしてメインロープが放射線になった後、ハンガーの長さの補正を行い、桁を鉄筋の鍾りに接着した。

初め、桁として、アルミニウム板を桁高4cmに切って、左右方向にだけ回転する支点にほめ込んだのであるが、その結果は思わしいものではなかった。その原因として、橋桁の剛性が横に比べて縦の方が大きすぎたし、又、支点が左右方向にしか回転しななため、ケーブルとハンガーの影響で、桁が上下方向に動くのを抑制していると考えられた。そこで、支点を図-3のようにいずれの方向にも回転出来るように改良し、橋桁の方は7mm角の真ちゅう棒に代えた。

又、左右の桁が一体となって動くように、真ちゅう棒に小さな穴をあけ、プラスチックの下敷を切って図-2のように接着剤で接着した。支点Aは、外乱を加えて応答を求める時、動けるように、水平方向に動く板バネを使用している。メインロープの重なりがなくなるよう、タワーエでは、ベアリングに溝を入れたキャップをかぶせ、その上にメインロープをかけるのである。

ほとんどの場所に接着剤(アラルダイト)を使用したが、固まるのに1日程度かかる以外、十分耐えうる強さがあった。

3. 実験概要

a. 実験器具

Strain Meter (英和 DPM-6AT)

増巾器, フリッジボックス

発振器 (NF回路設計ブロック)

フォトコーダー (横河),

マグネット

ゲージ (英和 K6-A1)

b. 概要

ゲージを橋桁の図-1のX印の位置(13ヶ所)の片側桁の両側に、合計26枚を張り付けた。

その場所は、側スパンの $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ 点と、中央スパン

図-3 支 点

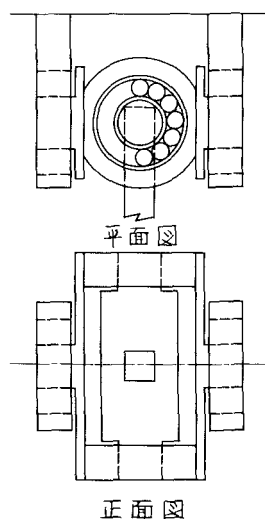
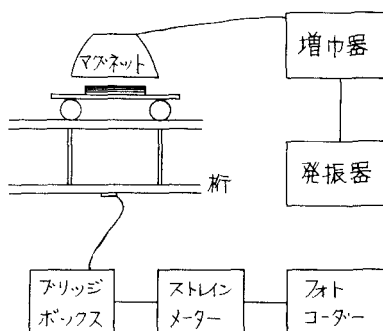


図-4 実験装置



の $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{7}{8}$ 点とタワーの側に2ヶ所である。

吊橋の固有振動数を求めるために、マスネットを中央スパンの $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ 点に据えて、発振器で低サイクルから徐々に上げていくと、橋桁が共振して振動をはじめた。

その振動中で、最大のひずみがある時を図-4に示してある要領でフォトコーダーで記録した。

但し、これらの実験では支点Aを固定してある。

フォトコーダーの記録から読みとる次数の固有円振動数が表-1である。

4. 理論計算

計算に使用した真ちゅう棒の弾性係数Eの測定は60cmの1端固定片持ち梁を作り、これにゲージを張って自由振動させた時の固有周期を実測して求めた。

吊橋の固有周期算定にはエネルギー法を用いたが、この場合 変位に於けるひずみが小さい振動は、単に中央スパンの単純梁であるとして計算してみた。

吊橋の歪エネルギーは次式で表わせる (図-5 参照)

$$V = \frac{EI}{2} \int_0^l \left(\frac{d^2 v}{dx^2} \right)^2 dx + \frac{Hw}{2} \int_0^l \left(\frac{du}{dx} \right)^2 dx + Wc \int_0^l \eta_1^2 dx + Wf \int_0^l \eta_2^2 dx$$

$$= \frac{EI}{2} \int_0^l \left(\frac{d^2 v}{dx^2} \right)^2 dx + \frac{Hw}{2} \int_0^l \left(\frac{du}{dx} \right)^2 dx + \frac{Wf}{2h_m} \int_0^l (v-w)^2 dx + \frac{W}{2(f-h_m)} \int_0^l u^2 dx \dots (1)$$

但し v は桁、 u はケーブルの変位であり、

ケーブルの伸びを無視すると

$$\eta_1 \doteq \frac{u^2}{2y} \quad \eta_2 \doteq \frac{u^2}{2y} + \frac{(v-w)^2}{2h} \quad \text{とおける}$$

E: 桁の弾性係数 Hw: ケーブルの張力

I: 桁の断面2次モーメント

Wc: ケーブルの単位長さ当り重量

Wf: 桁の単位長さ当り重量

$$W = Wf + Wc \quad h_m = f \left(\frac{1}{3} - \frac{2}{\pi^2} \right)$$

一方、運動エネルギーは η_1, η_2 が u, v に比べて高次の微少量であるので無視すると

$$T = \frac{W}{2g} \left(Wf \int_0^l \dot{v}^2 dx + Wc \int_0^l \dot{u}^2 dx \right) \dots (2)$$

但し、 ω は固有円振動数

ここぞ変位の仮定を対称形の時

$$v = a \sin \frac{n\pi}{l} x$$

$$u = b \sin \frac{n\pi}{l} x + (b-a) \sin \frac{n+2}{2} \pi x$$

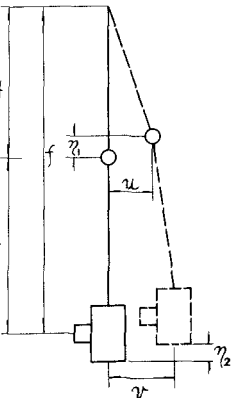


表-1 固有振動数 (水平)

	次数	実験	計算
		%	%
対称形	1	1.36	1.33
	2	9.09	7.96
	3	23.81	21.54
	4	45.45	42.15
逆対称形	1	3.37	3.64
	2	5.42	
	3	13.61	13.85
	4	31.81	30.84

但し

l は中央スパン長 $n = 1, 3, 5, 7$

又、対称形の時は中央スパンがモードの節に当たるので

$$v = a \sin \frac{n\pi}{l} x$$

$$u = b \sin \frac{n\pi}{l} x \quad n = 2, 4, 6$$

と仮定し $Ritz$ の方法により振動方程式を求めた。

$$E = 9.334 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2 \quad I = 0.02 \text{ cm}^4 \quad l = 250 \text{ cm}$$

$$H_w = \frac{Wl^2}{8J} = 2.268 \text{ kg} \quad W_c = 4.1 \times 10^{-5} \text{ kg/cm} \quad f = 54.5 \text{ cm}$$

$$W_f = W_A + W_i = 4.023 \times 10^{-3} + 11.76 \times 10^{-3} = 15.783 \times 10^{-3} \text{ kg/cm} \quad (\text{軽し})$$

$$W = W_c + W_f = 15.824 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}$$

以上の諸値を振動方程式に代入して W を求めた結果が表-1 の計算値である。

5. まとめ

表-1 をみると、大体に於いて、実験値の方がケイフルが大きくなっている。それは、連続梁であるために、個スパンの影響があるからだと思う。

又、実験に比べて対称系2次の5.42 % はタワーの下の変位に大きなひずみがあるが、これは連続梁の影響が大きくなっている例である。

本計算では、タワー下の支点上で単純支持に近似して各モードの振動についてだけ計算を行ったが、さらに、連続桁についても固有振動数の数値計算を行っている。

吊橋の各支点が異なる地震波をうける場合の吊橋の応答を *Modal Analysis* を求める場合には吊橋の固有振動数および振動型を高次まで用いなければならないのであるが、従来高次まで求めた例はない。

本研究は吊橋の地震応答解析の第一歩としてまず、その固有振動数および振動型をエネルギー法で求めた場合を示したが、さらに厳密な解析法が要求される。この点については今後さらに研究を進める予定である。

参考文献

平井 敦 (銅橋 III)