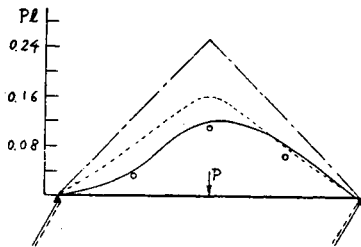


図-11 (c) 測定値との比較 (耳桁に載荷)



桁橋としての理論値、直桁橋としての厳密解、並びに慣用計算法による値がのせてある。これらからわかるように、各桁の荷重分担状況、同一桁上の曲げモーメントの非対称性など、いずれも、斜桁橋としての解析結果はよく測定値と一致している。これに対して、慣用計算法はもちろん、直桁橋としての厳密解でも、測定値と相当異なる値を与えている。

実際に架設された斜桁橋の載荷試験を行つたわけではないが、一応この模型実験の結果から、ここで述べた斜桁橋の解析方法並びに解析にあつて行つた仮定は、実用上十分有効であると判断してさしつかえないであろう。

6. 結 言

斜桁橋構造を相対する2辺にて単純支持、他の2辺にて自由な、直交異方性の平行四辺形板とみなして、これに階差法を適用し、斜橋の角度を変化させた場合および、荷重状態を変化させた場合について、主桁方向の曲げモーメント、床板の短スパン方向あるいは横桁方向の曲げモーメント、および各点のタワミを計算し、直桁橋の解との比較検討を行つた。その結果、斜桁橋の計算に対しては、慣用計算法によるのはもちろ

ん、直桁橋に対して各桁の荷重分担作用を考慮した計算で代用しても、なお不適當であつて、斜桁橋の性質を十分導入した合理的な計算を行う必要のあることがわかつた。また45°斜桁橋模型の載荷試験の結果も、慣用計算法や荷重分担作用を考慮した直桁橋としての解析結果では、測定値とかけはなれた値をうるのに対して、ここで述べたような斜桁橋の特長を導入した解析結果は、よく測定結果と一致することを示している。

主桁と横桁の斜交するものに対しては、ここで述べたような計算法をそのまま適用することはできないが、その場合でも、大体の傾向を知る上には十分参考になるものとする。

最後に種々御指導を頂いた京都大学小西教授、成岡教授に、また載荷装置の製作に多大の御援助をいただいた山口大学加賀美教授に深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 米沢 博：土木学会誌，39 (昭29)，1，p.38; 39 (昭29)，10，p.590; 40 (昭30)，2，p.59. 成岡昌夫・米沢 博：土木学会誌，40 (昭30)，5，p.214.
- 2) V.P. Jensen: University of Illinois Bulletin; No. 332 (1941). F.L. Ehasz: Transactions of A.S.C.E., 111 (1946) p. 1011.
- 3) N.M. Newmark, C.P. Siess, W.M. Peckham. University of Illinois Bulletin, No.375(1948) これによると、斜角30°および60°の2種、主桁5本よりなる斜桁橋構造の実験結果が報告されている。しかし実測値と比較すべき計算値には、直橋の値(弾性バリーによつて支持される連続板理論による)のみあげてあり、斜橋としての値は求めていない。

(昭.30.2.10)

起振機による鋼橋の振動特性の研究

(その一、径間 200 ft Schwedler 型ピン結トラスの場合)

正 員 橋 本 香 一*

STUDY ON CHARACTERISTICS OF STEEL BRIDGE VIBRATION BY THE MECHANICAL OSCILLATOR

(Report 1—In the case of a 200 ft-span, Schwedler Type-Pin-Connected Truss Girder)
(JSCE Oct. 1955)

By Kōichi Hashimoto, C.E. Member

Synopsis A method of evaluating vibrational characteristics and soundness of a steel bridge by means of a mechanical oscillator is described. Examples of application of this method on various types of bridges are reported. This is the first report summarizing the results of measurement of natural frequency and damping factor and evaluations of soundness on nine bridges spanning the Kiso river on the Tōkaidō Main Line.

* 四国鉄道管理局宇高船舶管理部次長

要旨 鋼橋の振動特性の研究及びその健全性の判定などに起振機を用いる方法について述べ、実際にこの方法を各種の鋼橋に応用した結果について報告する。この報文はその第一報として東海道本線木曾川橋梁(200 ft ピン結トラス) 9 連について、その固有振動数、減衰率などを測定し、あわせて健全性について調査した結果について報告したものである。

1. 緒言

起振機を用いて橋梁に定常振動を起し、その振動状況から橋梁の振動特性を求めたり、あるいはその健全性を判定したりすることは、かなり以前から行われている。すなわち 1920 年にインド鉄道¹⁾において行われたのが最初であつて、その後イギリス²⁾、ドイツ³⁾、ソ連⁴⁾及びアメリカ⁵⁾などにおいても実施されている。

この方法の特長は、一定の大きさ及び方向を有する繰返し荷重を連続的に橋梁に加えることにある。従つて、起振機の型式によつては、単に鉛直方向のみならず、前後左右方向あるいは振れ作用などに対する振動特性を求めるとも容易である。また定量的な試験が可能となり橋梁相互の比較ができるから、健全性の判定にも使用できる場合が多い。さらに、能力の大きな起振機を用いれば実物橋梁の疲労破壊試験も可能である⁶⁾。しかもこの方法は比較的簡単でかつ短時間に行うことができる。しかしその反面それに要する試験装置は、起振機本体のみならず、その制御装置及び場合によつては発電機をも必要とするから、かなり大仕掛となるのは止むを得ないところで、能率を上げるためには起重機を備えた専用運搬車が必要となつてくる。ドイツにおいてこの種の橋梁測定車が大いに活躍していることは衆知のとおりである⁷⁾。

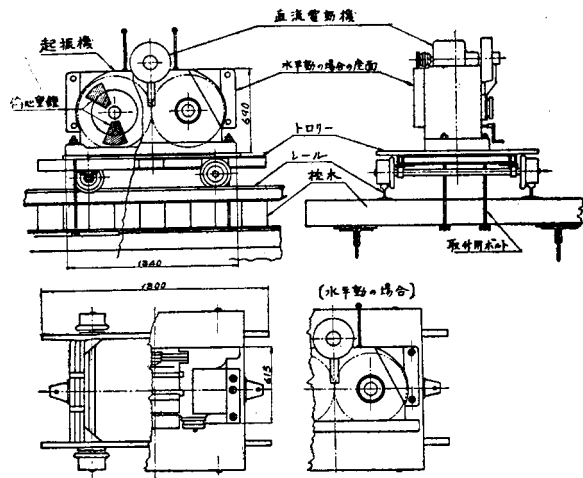
わが国におけるこの種の実験は、道路橋についてすでに二、三行われている⁸⁾。鉄道橋についても最近になつて実用の域に達し、この報告で述べるピン結トラス以外にランガー桁、三径間連続トラスなどについても引き続き報告したいと思う。

2. 起振機及びその付属装置について

橋梁用起振機はその使用目的に応じて各種の形式及び性能のものが使用されているが、いずれも数個の偏心重錘をその軸のまわりに回転せしめ、きまつた方向の遠心力のみを取出すものである。重錘の数は 2, 3, 4~8 個であり、発生する最大遠心力は 10 t 程度のものまで作られている。これらはいずれも特別な装置によつて回転数の精密調整を行いうるのが普通で、最近では自動制御装置を備えた起振機もできているようである⁹⁾。

この研究に用いた起振機は、ドイツの Losenhausen 会社 1937 年製作による 2000 kg・4/20 Hz 型で、平行的な 2 本の軸のまわりに互いに逆方向に回転する 2 組の偏心重錘があり、それらの偏心量を扇形重錘のなす角度を変化することにより調節して遠心力の大きさが加減できるようになつている。使用する最大遠心力は振動数範囲 4~20 c/s において 2000 kg であり、これ以下の任意の大きさに調節しうる。起振機の寸法は幅 1350 mm、奥行 650 mm、高さ 1000 mm で、自重は約 850 kg である。現場における移動及び線路外への列車退避を容易にするために、これを特殊のトロリー上に乗せ、そのままボルト 4 本で枕木に緊定して使用する。図-1 は橋桁に取付けた起振機を示している。この起振機は鉛直及び水平いずれの場合にも使用できるようになつている。

図-1 起振機構造図



起振機の運転は特殊の制御装置によつて行う。これは三相 220 V の交流を電源とする交流電動機、直流発電機、励磁用発電機からなる電動発電機であつて、これから得られた直流電圧を起振機上に取付けた直流電動機に導き、特殊のワードレオナード装置によつて回転数を精密に調整しうるようになつている。220 V の交流電源は商用電源あるいは 30 HP のガソリン発

表-1 電機装置の諸元

種別	電機名称	電圧 V	出力 kW	回転数 rpm	周波数 cps	重量 kg
起振機	直流複巻電動機	56~220	1.3~6.6	600~3000	—	1220 (トロリーを含む)
	三相交流誘導電動機	220	—	2850	50	450
制御装置	直流複巻発電機	220	7.1	—	—	
	励磁用直流複巻発電機	24	0.5	—	—	
電源装置	ガソリン発電機	—	30 HP	1500	—	720
	三相交流発電機	220	15 kVA	—	—	

電機によつて得られる。表-1 はこれらの諸装置の主要諸元を示す。

3. 供試トラスの概要

この試験に供した東海道本線木曾川橋梁(下り線)は 1910 年に American Bridge Co. によつて製作された径間 200 ft Schwedler 型のピン結トラス 9 連及び 150 ft のピン結トラス 1 連(岐阜方)からなつてゐるが、このうち 200 ft トラス全部について振動試験を行つた。図-2 は供試トラスの主要寸法を示す。このトラスは長年月使用の結果、ピン及びピン孔の摩耗またはターンバックルの回転などにより斜材アイバーの弛緩を生じたので、昭和 28 年 1 月ターンバックルの緊定が実施された。しかしまだその締め具合は均

一でなく弛緩パーも存在している。表-2 はアイバーの固有振動数の実測結果である。この表で見るとパーの締めは No. 5 及び No. 6 が最もよく、No. 1, No. 8 など弛緩しているように思われる。

部材の腐食は主構においては少ないが床組においてはきわめていちじるしい。特に縦桁上突縁の腐食が最もはなはだしく、また縦桁の横材の取付鉄は大部分が弛緩脱落しほとんど効果を發揮していない状況にある。一般的に床組の腐食は川上側より川下側、岐阜方より名古屋方がかかなり多くなつてゐる。また上下横構の弛緩鉄も名古屋方向の方が多い。図-3 は各トラスの弛緩鉄数を示す。

4. 振動試験要領

図-2 径間 200 ft Schwedler 型ピン結トラス

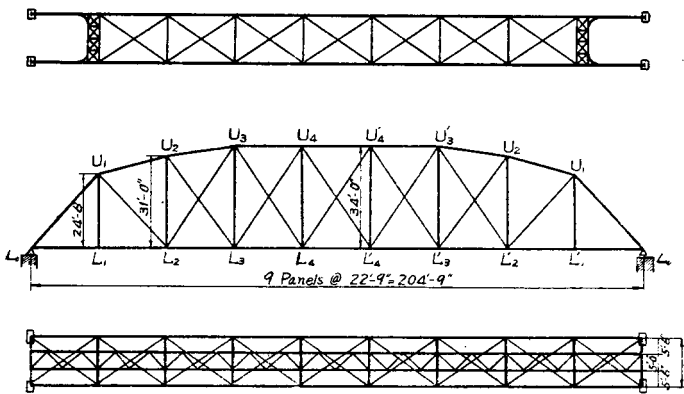


図-3 弛緩鉄数(名鉄局調査)

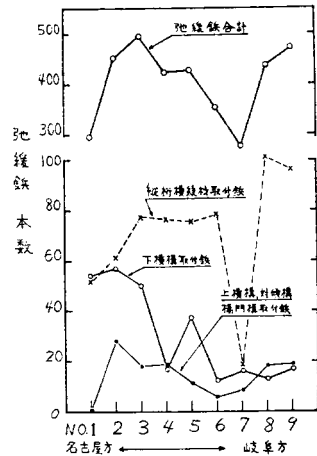


表-2 斜材アイバーの横方向固有振動数 (1/sec)

トラス	No.1		No.2		No.3		No.4		No.5		No.6		No.7		No.8		No.9		
	川上	川下	川上	川下	川上	川下	川上	川下	川上	川下	川上	川下	川上	川下	川上	川下	川上	川下	
U ₁ L ₂	内	3.9	3.4	3.1	3.1	3.0	3.5	3.5	3.2	2.4	2.9	2.8	2.8	3.4	3.2	2.8	3.0	3.0	2.8
	外	3.4	3.4	3.1	3.4	2.2	2.5	3.0	3.0	3.1	2.1	2.8	2.6	2.6	3.2	3.0	2.8	2.8	2.5
U ₂ L ₃	内	2.8	2.6	3.1	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.2	3.0	2.4	2.6	3.0	2.5	3.2	3.0	3.0	3.4
	外	2.8	2.4	3.1	3.1	3.0	3.6	3.2	3.2	3.0	2.3	2.7	2.6	3.3	3.2	3.5	3.3	3.3	3.6
U ₃ L ₂	内	2.6	3.2	3.1	3.1	3.1	2.7	3.4	3.7	2.0	2.0	2.8	2.1	2.7	2.7	2.8	3.0	2.8	3.9
	外	3.0	3.1	2.8	2.8	2.8	3.0	2.4	2.3	2.0	3.0	2.4	3.3	2.8	3.0	2.6	2.0	3.0	3.0
U ₃ L ₄	内	3.0	3.1	2.8	2.8	2.8	3.0	2.4	2.3	2.0	3.0	2.4	3.3	2.8	3.0	2.6	2.0	3.0	3.0
	外	3.0	3.1	2.1	2.8	2.6	2.8	2.4	1.9	3.0	2.8	2.8	3.3	2.8	2.8	2.8	2.0	3.0	2.4
U ₄ L ₃	内	2.4	2.2	2.8	3.4	3.3	3.2	2.8	2.1	1.2	2.8	2.4	2.3	2.5	2.5	2.8	3.3	3.0	3.0
	外	2.4	2.2	2.8	3.4	3.3	3.2	2.8	2.1	1.2	2.8	2.4	2.3	2.5	2.5	2.8	3.3	3.0	3.0
U ₄ L ₄ '	内	1.0	1.5	2.8	0.9	1.8	2.6	1.7	1.6	2.5	3.0	2.8	3.0	1.5	2.0	1.4	1.2	1.4	1.3
	外	1.0	1.6	2.8	0.9	1.7	3.1	1.6	1.6	2.5	3.0	2.8	3.0	1.5	1.7	1.4	1.2	1.5	2.5
U ₄ 'L ₄	内	0.9	1.5	2.6	2.0	1.8	2.8	1.4	1.4	2.6	2.8	2.8	2.5	1.5	1.5	1.4	1.2	1.4	1.3
	外	0.9	1.6	3.0	1.2	1.7	2.8	2.6	1.6	3.0	3.0	2.8	2.5	1.5	1.3	1.4	1.2	1.5	2.5
U ₄ 'L ₃ '	内	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0	1.0	3.0	3.3	3.5	3.5	2.5	2.8	4.0	2.8	3.0	2.4	3.6	2.6
	外	1.2	3.2	3.0	1.6	2.9	2.4	1.2	3.0	3.3	3.0	3.0	3.0	3.0	2.6	3.0	1.2	3.4	3.0
U ₃ 'L ₄ '	内	2.4	2.7	3.0	1.6	3.0	3.2	2.6	2.8	3.2	2.8	2.8	3.0	3.0	2.8	3.0	2.6	3.6	3.0
	外	2.4	2.7	3.0	1.6	3.0	3.2	2.6	2.8	3.2	2.8	2.8	3.0	3.0	2.8	3.0	2.6	3.6	3.0
U ₃ 'L ₂ '	内	3.4	2.8	2.6	3.9	2.8	3.5	3.1	3.1	2.6	2.6	2.9	3.0	2.4	2.7	2.9	3.2	3.3	3.3
	外	3.4	3.3	3.0	2.8	3.0	2.8	1.5	3.1	2.8	2.8	2.8	3.4	2.8	3.0	3.0	3.0	3.0	2.8
U ₂ 'L ₃ '	内	3.4	3.6	3.0	3.0	2.6	2.3	3.1	3.3	2.8	3.1	3.3	3.4	3.0	3.3	3.0	3.2	3.0	3.0
	外	3.4	3.6	3.0	3.0	2.6	2.3	3.1	3.3	2.8	3.1	3.3	3.4	3.0	3.3	3.0	3.2	3.0	3.0
U ₁ 'L ₂ '	内	3.1	3.1	2.8	3.2	3.0	3.0	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	3.2	2.8	3.0	3.3	2.6	2.8
	外	3.1	3.1	1.8	3.6	3.0	3.0	3.1	2.8	2.8	2.4	2.6	3.0	3.0	3.0	2.8	2.8	3.6	2.2

(昭和 29. 2. 5 名鉄局測定)

この試験は昭和 28 年 8 月 21 日より 6 日間にわたって実施した。試験期間が短かくかつ列車間合が十分に取れないために必要な測定数を確保できない場合があつた。起振機はトローリーに乗せたまま線路上を移動し、列車通過時は橋台付近で退避させたが、ガソリン発電機及び制御装置は重量が大きく毎回の退避が困難であるから、ともにトラックに積み河原上を移動させた。鉛直振動試験はすべてのトラスについて行い、横振動試験は No. 1, No. 2 及び No. 8 について行つた。

起振機の据付位置は、鉛直振動に対しては橋梁中央点とし、横振動に対しては L_1 点または橋梁中央点(縦桁中央)とした。使用した遠心力の状態は、鉛直振動に対して、 $P=30.01 N^2$ 、横振動に対して $P=30.01 N^2$ 、 $20.13 N^2$ 、及び $4.02 N^2$ kg の 3 種である。ここに N は毎秒回転数を示す。振動数範囲は鉛直の場合 $3.5\sim 8.5$ c/s, 横振動の場合 $1.5\sim 8.5$ c/s とし、基本振動数付近の振動性状の調査に重点を置いた。

振動振巾の測定は、 L_1 及び L_2 の 2 箇所において地上より引上げたピアノ線とバネを使用し、ガイゲル式変位計(倍率 3 倍)により記録した。横振動は上り線トラスを固定点に取り L_1 及び縦桁中央点の振動を同様の方法で測定した。このように全く同一の振動荷重状態で 9 連のトラスの鉛直振動試験を行つたが、このうち二、三のものについては起振機で振動させている桁の測定と同時に、これに隣接する桁及びこれらの間にある橋脚の振動をも測定した。この場合、橋脚の振動は長週期振動計(固有週期 2 秒, 倍率 6 倍, 煤煙式)によつて測定した。起振機の回転数を一定に保ち、振巾が安定した状態で測定を行い、回転数と振巾との関係を求めた。

5. 振動試験結果の評価

橋梁のような構造物は理論的には無限に多くの固有振動数を有するが、実用的に外力との共振作用を考える場合には基本振動数が最も重要で、特別の場合でも三次程度までを考えれば十分であろう。いま簡単のために橋梁をその中央に等価重量及び速度比例型の減衰をもつ一自由度の振動体とみなし、これを起振機により振動させる場合を考えると次式が得られる。

$$\frac{W}{g}\ddot{y} + f\dot{y} + ky = P_0 N^2 \sin 2\pi Nt \dots\dots\dots (1)$$

これから振巾 A を求める

$$A = \frac{gP_0}{4\pi^2 W} \frac{u^2}{\sqrt{(1-u^2)^2 + 4h^2 u^2}} \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 $u = N/n_0$ 、 $h = \varepsilon/\omega_0$ 、 $\omega_0^2 = gk/W$ 、 $2\varepsilon = gf/W$ 、 $\omega_0 = 2\pi n_0$ 、 W : 中央等価重量である。両端支持の均等断面バリでは共振時の振動波形は単一正弦波となり $W = W_0/2$ となることは容易に証明される。ここに

W_0 は橋梁全重量である。

(2) 式の関係を図示すれば 図-4 が得られる。橋梁の減衰率は後述するように非常に小さいから、最大振巾を示す振動数を固有振動数と考え

てさしつかえない。また対数減衰率を求めるには、(2) において $u=1$ とおけば共振時の振巾 A_r は

$$A_r = \frac{gP_0}{8\pi^2 Wh} = \frac{gP_0}{4\pi^2 W_0 h} \dots\dots\dots (3)$$

となるから、 A_r が実測できれば h が求まり、これから対数減衰率 θ は

$$\theta = \varepsilon/n_0 = 2\pi h \dots\dots\dots (4)$$

として求められる。ここに対数減衰率は自由減衰振動において一週期 T をへだてた振巾比の自然対数と定義する。

すなわち

$$\theta = \log_e \frac{A_t}{A_{t+T}} \dots\dots\dots (5)$$

あるいは一般的に共振曲線の形状のみから θ を求めることも可能である。それには 図-4 のように $0.707 A_r$ の高さの水平線を引き、共振曲線と交わる点の振動数をそれぞれ n_1 及び n_2 とすれば

$$\theta = \frac{\pi(n_2 - n_1)}{n_0} \dots\dots\dots (6)$$

となる。また 図-5 のように振動数と消費電力の関係を求める場合もあるが、このときは基線から $0.5 A_r$ の高さで基線に平行線を引き、曲線との交点を求めてやはり (6) 式を用いるのである。 θ が求まれば共振時や動的倍率は

$$V = \pi/\theta \dots\dots\dots (7)$$

となる。橋梁の固有振動数、減衰率その他の振動特性が、走行車両による橋梁の振動及び衝撃の問題に密接な関係を有することはよく知られているところである。またこれらのものが橋梁の健全性の判定にも利用できることは、古来より製品検査にそれが発する音の高さや減

図-4

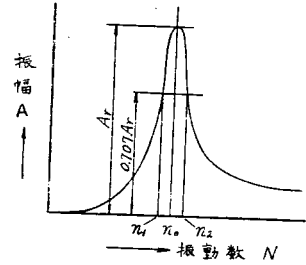
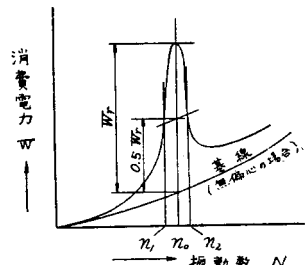


図-5



衰を利用したり、コンクリートの強度判定に振動法が用いられていることから推察できる。すなわち部材の腐食、鉄弛緩その他各部のゆるみにより固有振動数は低下し、また応力集中、鉄弛緩、支承部摩擦、橋脚及び地盤の不良などによって減衰率は増大するものと考えられる。しかし共振曲線の形状には上記のほか高次振動、部材の局部振動、橋脚及び隣接桁の振動など各種の影響が複合されて現われるので簡単ではない。従つて具体的な弱点を求めるためには肉眼検査、応力及びタワミ測定などが必要となる。

6. 試験結果とその考察

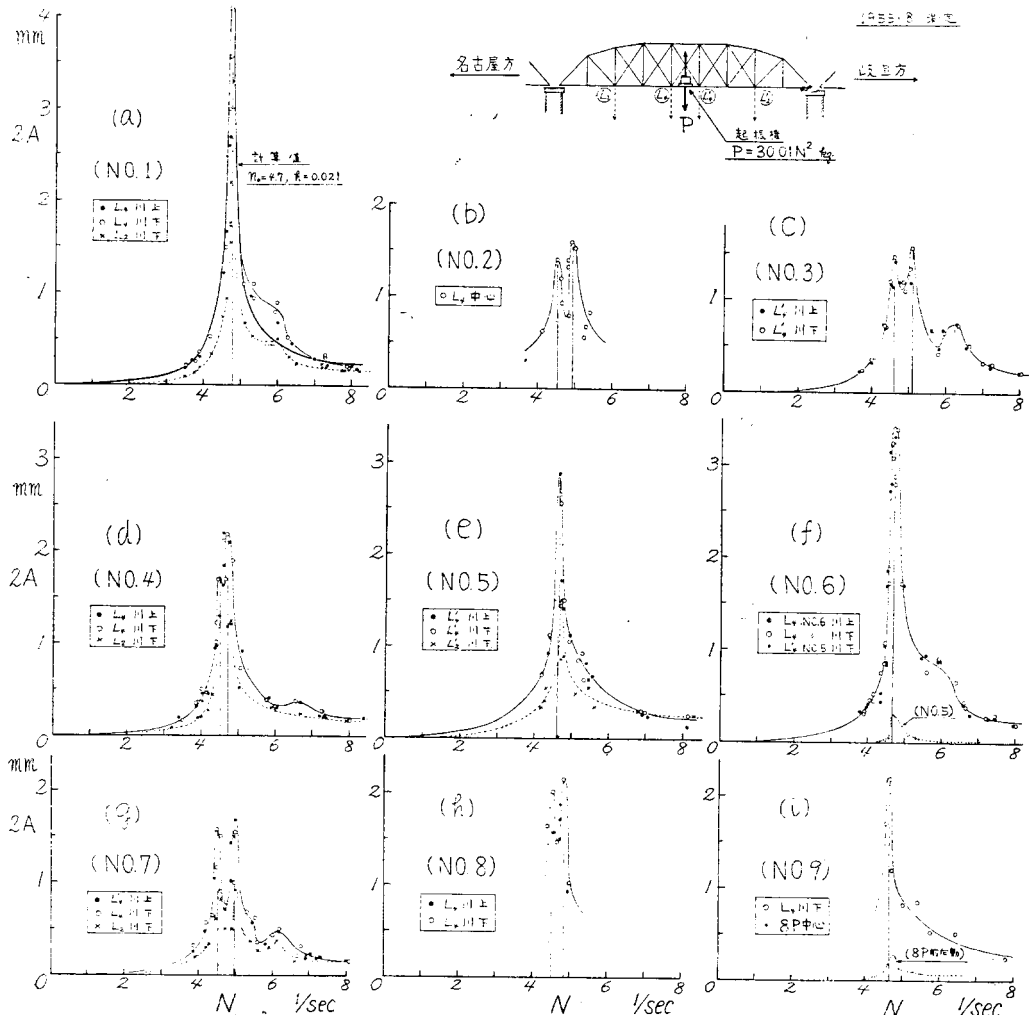
(1) 鉛直振動 各トラスについて起振機の回転数 N に対して鉛直振動の全振巾 $2A$ を点置してみると図-6 (a)~(i) に示すようになる。いづれもある特定の振動数で共振の山を生じており、試験範囲 $N <$

8.5 c/s において1山、2山、あるいは3山のものが見られる。すなわち、No. 1, 5, 6 及び 9 は1山、その他は2山となつており、さらにくわしくいえば小さな第3の山を有する場合がある。これらの共振振動数は表-3 に示されている。1山の場合は自由度1の場合に相当し、(3) 及び (4) 式から h 及び θ を求めると表-3 に示す値となる。 θ の値は 0.13~0.25 の範囲にあり、これまで各種の実験で得られている値とはほぼ一致している。実測による n_0 及び h を用い (2) 式により計算した振巾を実測値と比較すると、図-6 (a) に示すように大体一致している。

1山の場合の実測による固有振動数はおよそ 4.5~4.7 であるが、いまこれを計算で求めてみると次のとおりである。

トラス鋼重量 148 t

図-6 鉛直振動、振動数と振巾との関係



軌道重量 25 t (400 kg/m と仮定)
 合計死荷重 $W_0 = 173$ t
 中央等価重量 $W = W_0/2 = 86.5$ t

中央に 1 cm のタワミを生じさせる中央集中荷重
 $k_0 = 47.6$ t/track/cm

(プラットトラスとしての慣行計算法による)

通常トラスのタワミは床組, 横構などの影響により慣行計算値の約 80% になるものと考えられるから,

$$k = k_0/0.8 = 47.6/0.8 = 59.5 \text{ t/track/cm}$$

従つて固有振動数 n_0 は

$$n_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{kg}{W}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{59.5 \times 980}{86.5}} = 4.1$$

となる。このように固有振動数は計算で 4.1, 実測で 4.5~4.7 となり, 振動試験の結果得られた実際の剛性が計算上考えられている剛性よりもかなり高いことを示している。床組などの影響はすでに上の計算には含まれている。これ以外に考えられることは, このトラスは斜材アイバーが最初から張力を受けた状態にあるため, 実際はダブルワーレン型として働らくということである。このことは後日行われた斜材の応力測定結果からも証明されるが, これについての説明は省略する。もちろんアイバーの不協力は剛性を低下させる傾向にあるが, この影響よりもダブルワーレンとしてこの剛性増加の方がはるかに大きいものと考えられるのである。ピンとピン孔とのガタについては考慮する必要はないだろう。

図-6 (g) に示す No. 7 の場合は 2 山の代表的な場合であるが, 1 山の場合の共振点に相当する $N=4.7$ 付近において振巾はかえつて極小値を示し, この値をはさんで $N=4.48$ 及び 4.95 において極大値を生じており, なお $N=6.15$ 付近にも振巾は小さいが極大値が見られる。このように基本振動数に接近して 2 山あるいは 3 山の共振点を生ずるのは, トラス全体としての高次振動を示すものではなく, 主として横構あるいは斜材などの局部振動が主構振動と連成し, いわゆる動的吸振器として作用する結果と考えられる。これらの部材の局部振動は実験中によく観察することができた。あるいはまた, 橋脚を介して隣接トラスの振動の影響も考えられるのであるが, これらについては将来の研究にまきたいと思う。2 山の共振点を生ずることの一つの説明として, 図-7 に示すように主振動系に吸振器がついている場合を考え, 吸振器の固有振動数が主振動系の固有振動数に一致するものとし, 質量比 $w/W=0.02$, 減衰常数 $h=0.05$ と仮定して衆知の公式¹⁰⁾により振動数と振巾との関係を求めると 図-7 のように実測結果と近似した曲線が得られる。

図-7

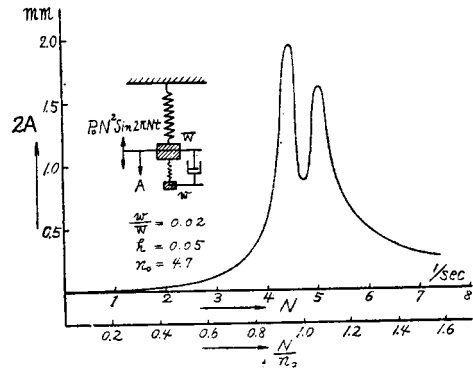


表-3 各トラスの共振振動数と対数減衰率

トラス	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
共振振動数	4.70	4.50	4.60	4.50	4.50	4.70	4.48	4.50	4.65
1/sec		4.90	5.10	4.70			4.95	4.82	
減衰常数 h	0.021		6.25		0.031	0.026			0.040
対数減衰率 θ	0.13				0.19	0.16			0.25
備考*	1山	2山	3山	2山	1山	1山	3山	2山	1山

* $N < 8.5$ c/s の範囲における山の数

次に振動波形について考察するために, 例えば No. 1 トラスについて L_2 と L_4 における振巾の比を求めてみる。その結果は 図-4 に示すように, 振動数の増加にともなつて振巾比が増加し, 従つて振動波形が平坦になつてゆくことがわかる。桁のタワミを単一正弦波と仮定すれば振巾比は 0.66 となるが, 共振点及びそれ以下の振動数ではこれより小さく, 従つて静的タワミ形に近いが, 共振点をかなり超えた $N=8$ c/s 付近ではこの比が 0.87 程度となり, 三次振動の影響が現われていることを示している。他のトラスについても同様な傾向が認められる。

あるトラスに振動力を加えて振動を生じさせると, その両端の橋脚及び隣接するトラスにも振動を生ずることが認められた。No. 9 トラスを振動させた場合にその支点である 8P 橋脚の前後動を測定した結果を 図-6 (i) に示す。トラスの振動に大体対応した共振曲線を示し, その最大全振巾は 0.28 mm であつた。上下及び左右動はこれに比しいちじるしく小さく, 測定できない程度であつた。このことから, この場合の橋脚の振動のおもな原因は支点の摩擦にもとづく線路方向の力であることがわかる。また No. 6 トラスを振動させた場合に, これと隣接する No. 5 トラスとの

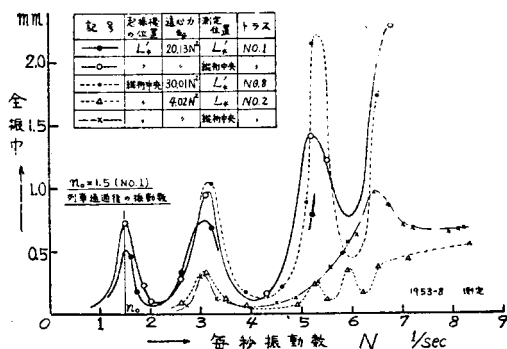
表-4

振動数 N	3.9~4.2	4.7 (共振点)	7.8~8.2	正弦波の場合
A_2/A_4	0.49	0.53	0.87	0.66

振巾の関係は 図-6 (f) に示すとおりで、最大振巾の比は約 9% になっている。

(2) 水平振動 振動発生機を水平型に置きかえて、 L_4' 点及び中央縦桁の中央に定置し、線路に対して直角方向に繰返し荷重を加えた。これによつてトラスには横方向に水平振動が生ずるとともに、若干の捩り振動が付随して起る。No. 1, 2 及び 8 トラスについて、各種の条件において行つた振動試験の結果を共振曲線で示せば 図-8 のとおりである。いずれの場合にも、 $n=1.5, 3.1, 5.3 \dots$ c/s において共振を生じている。基本振動数 $n_0=1.5$ c/s は後述の列車通過後に得られる自由振動数に一致している。

図-8 横振動の測定結果

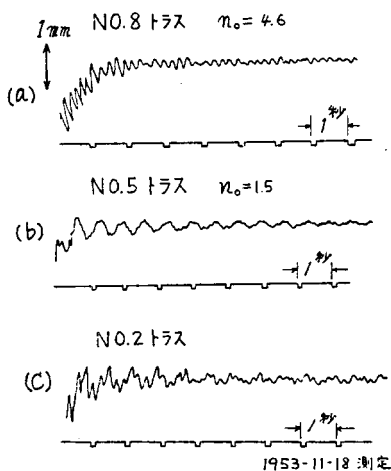


7. 列車通過後の自由振動の測定結果

橋桁の固有振動数及び減衰率は列車通過後に残留する自由振動からも求められる。列車通過後の水平振動はかなり顕著でその測定は容易であるが、鉛直振動は非常に小さいから計器の倍率を大にするなど特別の考慮を払う必要がある。

鉛直振動の三つの代表的な波形を 図-9 に示す。図

図-9 鉛直自由振動の波形



の (a) は曲げ固有振動数 $n_0=4.6$ がおもに現われており、起振機で得られた振動数に相当している。ただし波形は Beat 状をなしこれから減衰率を求めることは困難である。(b) においては (a) の曲げ振動はほとんど認められなくなり、 $n=1.5$ c/s の振動が卓越し、明らかな減衰振動を示している。この型の振動は川上と川下トラスの位相が全く相反することから、横振動に付随して生じた捩り振動を示すものと考えられ 図-8 の基本振動数に一致している。(c) は (a) と (b) との組合せによる振動を表わしている。

図-10 は C62 単機関車が通過した場合の上弦材 U_4' 及び下弦材 L_4' の横振動の同時記録を示す。通過後に $n_0=1.5$ c/s の明瞭な自由減衰振動を生じている。

図-9 (b) 及び 図-10 から減衰状況を求めてみる

図-10 横振動の波形

NO.8 トラス 横振動波形
C62 単機 82 km/h

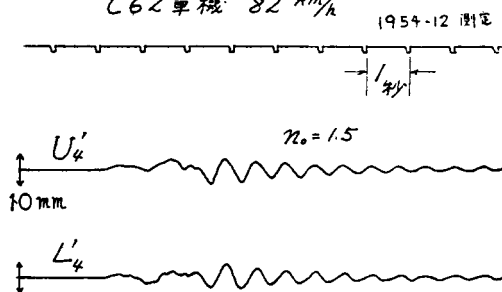
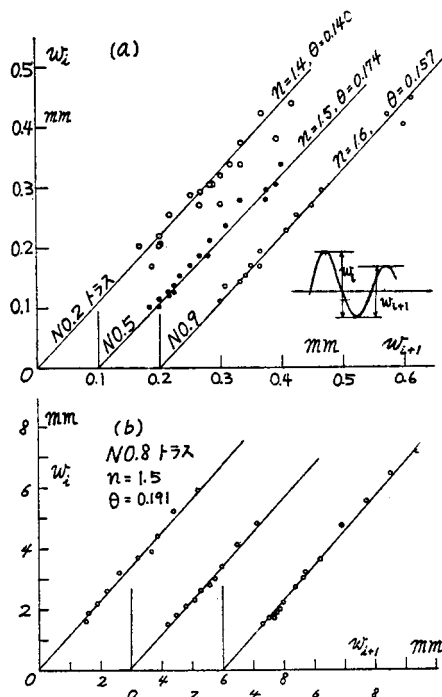


図-11



とそれぞれ図-11 (a) 及び (b) に示すごとくで、振巾はほぼ等比級数的に減少しクーロム摩擦はほとんど認められない。これから求めた対数減衰率は、図-9 (b) の場合に 0.14~0.17, 図-10 の横振動の場合に 0.19 程度の値をとり、起振機により得た値と大差ない。

8. 結 言

橋梁の衝撃振動あるいはその健全性と密接な関係を有する振動特性を求める方法として起振機による方法について述べ、これを径間 200 ft のピン結トラス9連に適用した結果について報告した。主構の腐食、鉸弛緩などと振動特性との関係は明瞭でないが、アイバーなどの弛緩に原因する局部振動の影響は共振曲線の形状に明らかな変化を及ぼし、また縦桁横椽材の取付鉸の脱落はその横振動振巾をかなり増加させていることが認められた。

起振機により弱小橋梁の強度判定を行うためには、腐食、弛緩その他の欠陥と振動特性との関連について調査しておくことが必要であつて、本報告はそれに対する一つの資料を与えたものである。

最後にこの試験の実施について多大の御援助を賜わつた名古屋鉄道管理局施設部の関係各位に深甚の謝意を表するとともに、起振機の整備取扱いに努力された小松原政次氏はじめ測定に協力された諸氏の労を多とするものである。

参 考 文 献

- 1) Fourth Report of the Indian Railway Bridge Stress Committee, 1921, vol. 2, p. 16.
- 2) Report of the Bridge Stress Committee, Dep. of Sci. and Ind. Res. London, 1928.
- 3) R. Bernhard u. W. Späth: Rein dynamische Verfahren zur Untersuchung der Beanspruchungen von Bauwerken, Der Stahlbau, März 1929.
W. Späth: Theorie und Praxis der Schwingungsprüfmachinen, Berlin, Springer, 1934.
- 4) 原田干三訳: 橋梁振動論, 丸善, 1941.
- 5) An Investigation of Bridge Impacts with a Mechanical Oscillator, Proc. AREA, vol. 49, 1948.
- 6) R. Bernhard: Dauerversuche an genieteten und geschweissten Brücken, ZS. V.D.I. Bd. 73, 1929.
- 7) B. Brückmann: Die Brückenmesswagen der Deutschen Bundesbahn beim Eisenbahn-Zentralamt München-Zweck, Beschreibung und Verwendung. Die Bundesbahn, Heft 15. 1951.
- 8) 小西一郎・山田善一: 既設鋼道路橋の振動減衰について, 土木学会誌 第 38 卷 第 10 号, 昭 28-10.
- 9) R.K. Bernhard: Study of Mechanical Oscillators, Proc. ASTM, vol. 49, 1949.
- 10) Den Hartog: Mechanical Vibrations, p. 119 (昭.30.4.25)

壁厚が直線的变化をなす円筒形水槽の 温度応力解式と計算図表

正 員 工学博士 酒 井 忠 明*

CALCULATION FORMULAE AND GRAPHS OF THERMAL STRESS OF CYLINDRICAL TANKS WITH LINEARLY VARYING WALL THICKNESS

(JSCS Oct. 1955)

Dr. Eng., Tadaaki Sakai, C.E. Member

Synop In this paper, the author gives the practical calculation formulae and graphs from which the stresses due to the temperature change can be directly and quickly determined at any point in the wall of tanks with linearly varying wall thickness.

要旨 円筒形水槽においてその下端が固定状態の場合には、壁体の温度変化による応力はきわめて大であり、下端付近においては曲げモーメント及びせん断力は液圧によるものより大なることがありうるので、なおざりにはできない。従つて著者は壁厚一定の場合及び壁厚が直線的变化をなす場合、壁体が一様な温度変

化をなしたとき生ずる温度応力の計算式を求め、さらに図表を作製してこの温度応力計算の便に供するものである。

1. 壁厚一定なる水槽の温度応力解式

水槽の諸寸法を図-1に示すごとくあらわし、また

E, ν : 壁体材料の弾性係数及びポアソン比

ϵ : 壁体材料の線膨脹係数

* 北海道大学教員, 工学部土木教室