

模型げたの振動実験による構造特性の検討

Structural Characteristics of Girders Determined by Model Vibration Experiments

城野 忠幸* 小玉 茂* 中野 修**

Tadayuki SHIRONO, Shigeru KODAMA and Osamu NAKANO

橋梁の耐風安定性を評価する場合、げた断面の空力特性や固有振動数、構造減衰を把握する必要がある。昭和63年度に実施した札幌大橋での現場実験¹⁾では、耐風安定性は良好であったが、構造減衰の要因分析および振幅依存性などの問題が未解決である。

本報では、各種の模型げたを用いて振動実験を行い、構造減衰の検討を行った。その結果は、次のとおりである。

- (1) 継手形式の違いによる減衰は、可動支承部の摩擦力が小さい場合、高力ボルト継手のげたが最も大きい。
- (2) 大振幅振動においては、継手形式、剛性、支承部の摩擦による影響はほとんどみられず、減衰率は小さくなる。

〈固有振動数：構造減衰：構造特性〉

Estimates of the aerodynamic stability of bridges requires a determination of the aerodynamic characteristics of cross sections of girders, the natural frequency, and structural damping. Field experiments on Sapporo Ohashi Bridge in 1988 showed it to have good aerodynamic stability, but the factor analysis and the dependence of structural damping on the amplitude was not determined.

This report presents an investigation of structural damping through vibration experiments using various model girders. The results are:

- (1) Girders having joints with high tension bolts provide the largest damping when friction on a movable shoe is small.
- (2) Vibration experiments with a larger amplitude show a smaller damping factor and little influence of joint type, rigidity, and friction on shoe.

Keywords: natural frequency, structural damping, structural characteristics.

1. ま え が き

構造特性は、橋梁の耐風安定性を支配する要素のひとつである。このうち固有振動数については、はりの長さ、質量、曲げ剛性、支持条件を使って解析的に求め、その値が測定値と符合することが確かめられている。

他方、構造減衰については、材料の内部摩擦、継手部や支承部の摩擦、基礎地盤へのエネルギー逸散、空気抵抗などの因子が複雑に絡合い、その影響度を定量化するのは困難である²⁾。現在まで各種の実橋において振動実験が行われ、構造減衰に関するデータの蓄積は進んでいるが、確定的な結果が得られていないのが現状である。

*構造研究室員 **同室長

本報では、模型げたを用いて振動実験を行い、振動振幅、可動支承部の摩擦、継手形式およびけた断面の剛性の違いによる構造減衰への影響を考察した。

2. 実験方法および計測

2.1 実験項目

本実験における実験項目は、次の3項目である。

- (1) 固有振動数
- (2) 構造減衰（対数減衰率）
- (3) 支承部の回転変位量と水平移動量

(2)については、振幅による違い、可動支承部の摩擦に

よる違い、継手形式による違い、けた断面の剛性による違いが比較できる実験例をとった。

2.2 模型げたの種類

模型げたはキャンパーつきで、継手形式と剛性を変えた5タイプを製作した。模型げたの一般図を図-1に、種類を表-1に示す。

可動支承部は、ネジの調節により摩擦力が可変である。写真-1に、可動支承部の外観を示す。

2.3 計測方法

加振方法は、鋼製フック付きのチェーンブロックをけ

表-1 模型げた種類一覧表

模型タイプ	厚さ t (mm)	継手形式	鋼材
A	6	継手なし	SM53B
B	6	高力ボルト継手	SM53B
C	6	溶接継手	SM53B
D	9	継手なし	SM53B
E	9	高力ボルト継手	SM53B

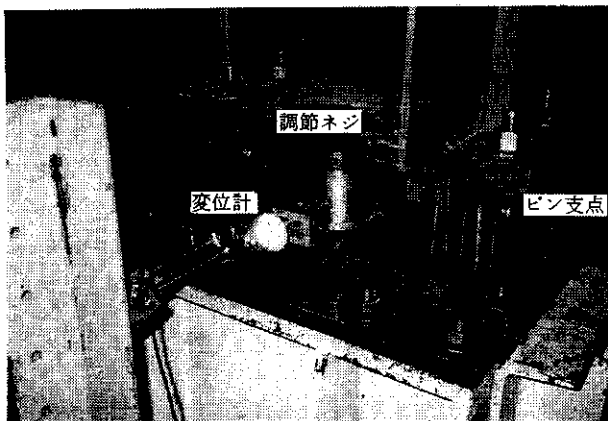


写真-1 可動支承部の外観

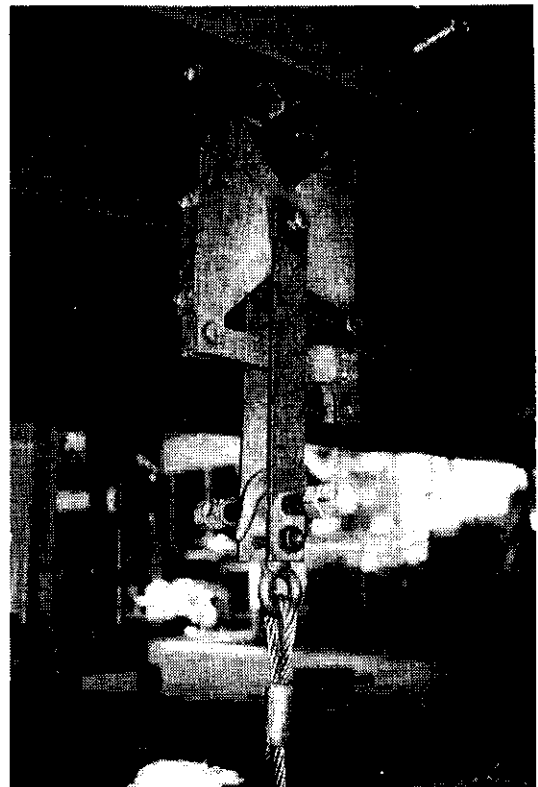


写真-2 鋼製フックの外観

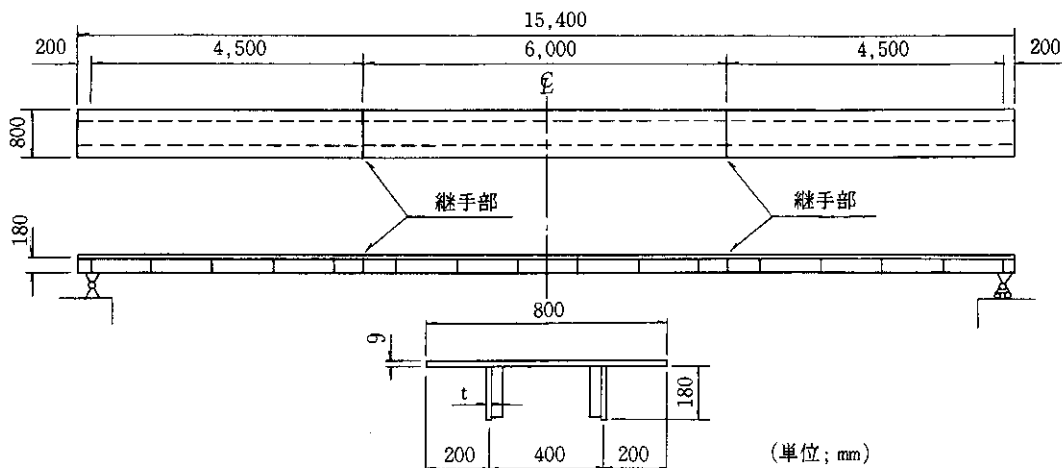


図-1 模型げた一般図

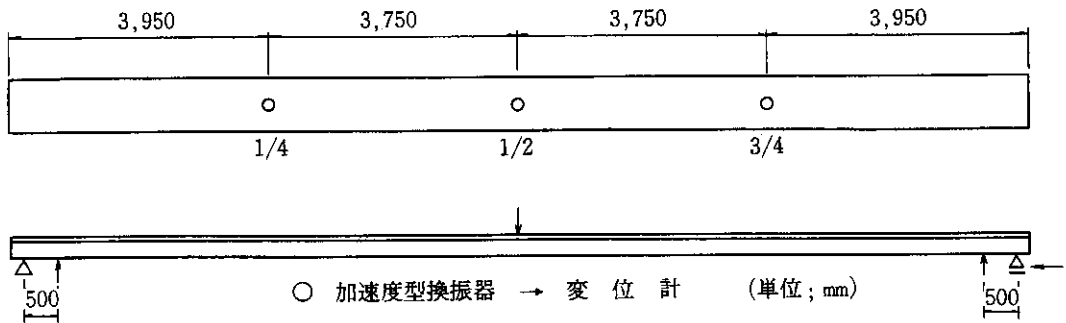


図-2 計測器配置図

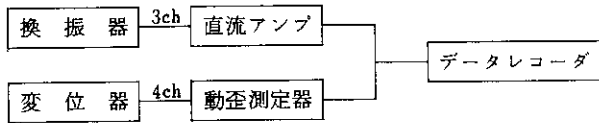


図-3 計測システム図

た中央の鋼棒に取りつけ、所定の振幅まで引張後・瞬時に力を開放できる装置とした。その外観を写真-2に示す。加振幅については、けたの支間長に対する振幅の許容値は30 mmであるが、この値を挟んで5, 10, 30, 50, 80 mmの5段階をとった。可動支承部の摩擦力は最小、最大の2段階とし、各振幅ごと5回の自由減衰の計測を行った。

けたの応答加速度は、けた上の1/4, 1/2, 3/4点に加速度型換振器を設置し計測を行った。変位はけた中央の振幅、固定端支承部の回転変位、可動端支承部の回転変位と水平変位を変位計により計測した。図-2に計測器配置図、図-3に計測システム図を示す。

3. 実験結果と考察

3.1 固有振動数

けた中央の自由減衰波形からパワースペクトルによって求めた固有振動数の結果と理論値を表-2に示す。

表-2のとおり、実験で得られた固有振動数は支承部の摩擦が小さい場合、振幅の違いによる差はほとんどみられないが、摩擦力が大きい場合には振幅が大きくなるほど固有振動数は小さくなり、長周期化する傾向があった。

継手形式の違いでは、剛性が同じA, B, Cけたを比較すると、継手なしのAけたと溶接継手のCけたが同じ程度で、HTB継手のBけたの固有振動数が若干大きい。またD, Eけたについても、HTB継手のEけたが同様の結果となった。

剛性の違いでは、剛性の大きいD, Eけたの方が剛性の小さいA, B, Cけたより固有振動数は大きい。

数値解析による理論値は、縦リブの剛性および継手の違いによる重量変化を考慮しなかったため、A, B, Cけたで2~10%, D, Eけたで5~10%程度実測値を下まわる結果となった。なお、実橋においても理論値は計算上の仮定から、一般に実測値を下まわるものと考えられている²⁴⁾。

3.2 構造減衰

構造減衰の大きさは、すべて対数減衰率として表わすこととした。

$$\delta = 2\pi h = \frac{1}{N} \ln \frac{a_1}{a_{N+1}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 δ ; 対数減衰率

h ; 減衰定数

N ; 波数

a_1, a_{N+1} ; 第1波および $N+1$ 波の振幅

可動支承部の摩擦力最小時のけた中央振幅と対数減衰率の関係を図-4(a)に、摩擦力最大時の関係を図-4(b)に示す。可動支承の摩擦力が小さい場合、振幅が大きくなるほど対数減衰率は小さくなっており、これは小さい振

表-2 固有振動数の実測値と理論値

(単位: Hz)

実測値	振幅(mm)	支承部摩擦力 最小					支承部摩擦力 最大					理論値
		5	10	30	50	80	5	10	30	50	80	
模型タイプ	A (継手なし)	1.56	1.52	1.52	1.52	1.52	1.64	1.60	1.60	1.60	1.56	1.494
	B (HTB継手)	1.60	1.56	1.56	1.56	1.56	1.72	1.68	1.64	1.64	1.64	1.494
	C (溶接継手)	1.60	1.52	1.52	1.52	1.52	1.68	1.60	1.60	1.60	1.56	1.494
	D (継手なし)	1.76	1.76	1.74	1.74	1.74	1.84	1.84	1.84	1.84	1.76	1.666
	E (HTB継手)	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.666

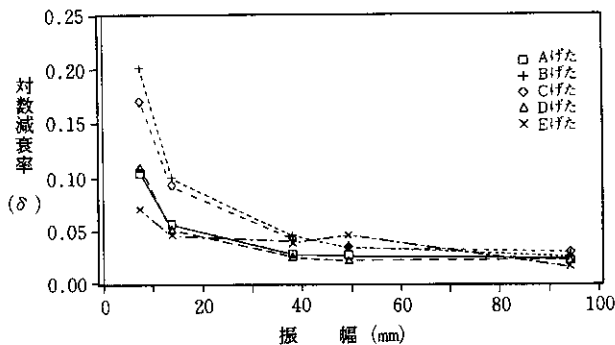


図-4(a) 振幅—対数減衰率の関係 (摩擦力 最小)

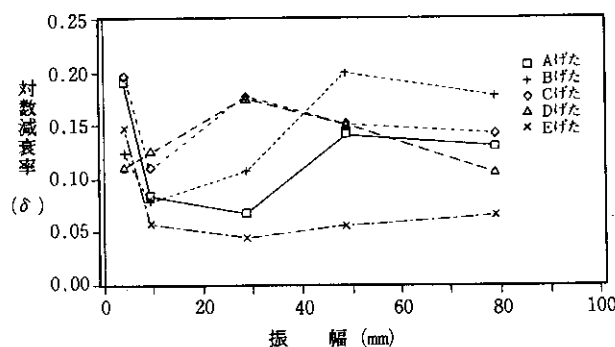


図-4(b) 振幅—対数減衰率の関係 (摩擦力 最大)

幅ほど支承部の摩擦の影響があると考えられる。

継手形式による違いは明確ではないが、A、B、Cげたに限定すると継手なし、溶接継手、HTB継手の順に減衰率が大きくなる。しかし、振幅が大きくなるに従いその差はほとんどなくなる。

剛性の違いでみると、B、Eげたの比較では剛性の大きい方が減衰は小さいが、A、Dげたでは差はみられない。

摩擦力最小のときの応答波形と応答値の関係の一例を、図-5(a)に示す。摩擦力が大きい場合は、図-5(b)に示したように応答波形にうねりが生じ、算出個所の違いにより減衰率が大きく変化する。このため、図-4(b)に見られるように振幅と減衰率の間に相関はなく、振幅依存性は認められなかった。

一般に、実橋では対数減衰率の振幅依存性が認められており⁹⁾、札幌大橋の振動実験結果においても振幅が大きくなるほど減衰率も大きくなった。しかし、今回の模型実験においてはこれと逆の結果になった。これは、実橋と模型げたでは、支承部の摩擦やけたの剛性といった諸条件が大きく異なる点、さらに模型げたの場合、けたの支間長に対する振幅の許容値を越えた範囲でも計測を行った点などがその相違の理由として考えられる。

また、本報の結果は振幅が小さいとき、継手形式、剛性支承部摩擦が減衰に与える影響は大きい、振幅が大

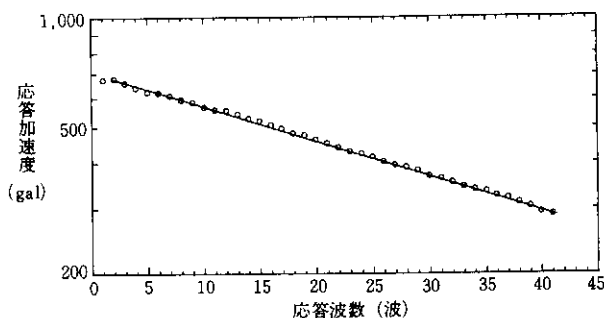
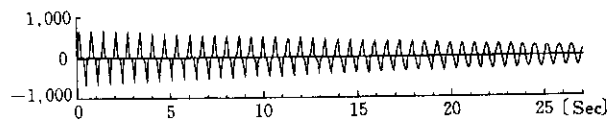


図-5(a) 応答波数—応答値の関係 (摩擦力 最小)

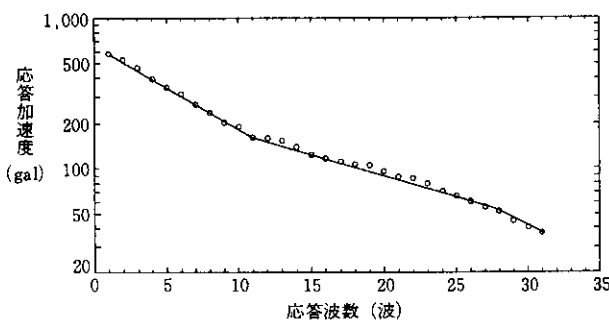
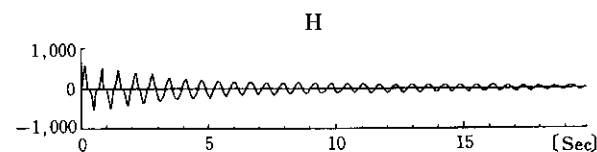


図-5(b) 応答波数—応答値の関係 (摩擦力 最大)

きくなるとけたの振幅による影響が支配的になるため、減衰が小さくなると考えられる。

3.3 支承部の回転変位量と水平移動量

けた中央の振幅に伴う回転変位量および可動端の水平移動量の理論値は、次の(2)、(4)式により求めた。

$$w_f = w_m = a_0 \left\{ 3 \frac{x}{l} - 4 \left(\frac{x}{l} \right)^3 \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

けたが上にたわむ場合、

$$y_0 = -2 \frac{a_0 \pi}{l} h - \frac{a_0^2 \pi^2}{4l} \quad \dots\dots\dots (3)$$

けたが下にたわむ場合、

$$y_0 = 2 \frac{a_0 \pi}{l} h - \frac{a_0^2 \pi^2}{4l} \quad \dots\dots\dots (4)$$

- ここに、 w_f ; 固定端から x だけ離れた点でのたわみ
- w_m ; 可動端から x だけ離れた点でのたわみ
- a_0 ; けた中央でのたわみ
- x ; 支点から測定点までの距離
- l ; けたの支間長
- y_0 ; 可動端の水平移動量

h : 支点からけた中立軸までの高さ
単位は、すべて mm として計算した。

けた中央振幅と支承部回転量の関係を図-6(a), (b)に、
けた中央振幅と可動端水平移動量の関係を図-7(a), (b)に
示す。

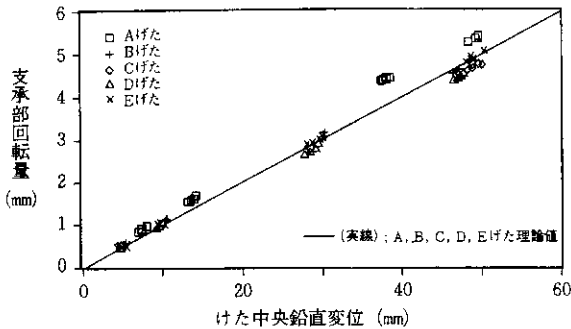


図-6(a) 振幅一回転量の関係 (摩擦力 最小)

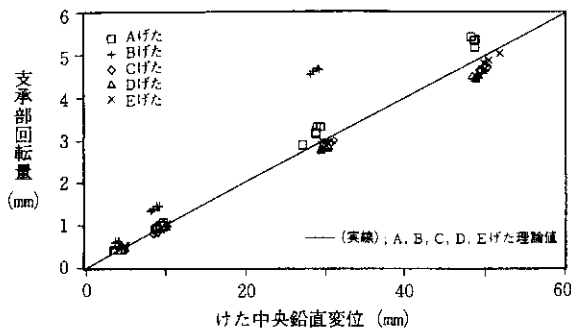


図-6(b) 振幅一回転量の関係 (摩擦力 最大)

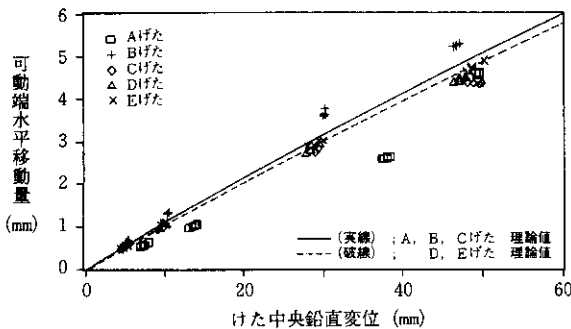


図-7(a) 振幅一水平移動量の関係 (摩擦力 最小)

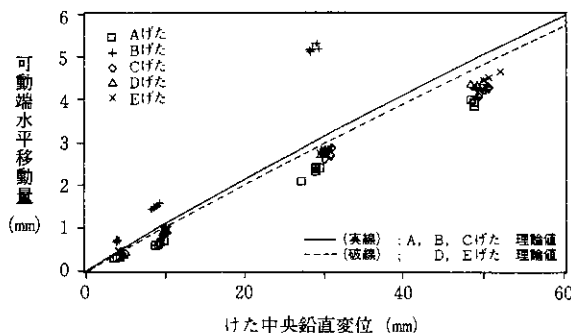


図-7(b) 振幅一水平移動量の関係 (摩擦力 最大)

図-6(a), (b)および図-7(a), (b)より、摩擦力が最小の
場合、理論値と実測値は比較的良好に一致しているが、摩
擦力が最大の場合、Bげたの実測値が突き出して大きい。

なお、水平移動量の理論式では、上にたわんだ場合の
絶対量が大きくなるが、応答値は両者に差はみられなかつた。
これは、模型製作時のキャンバーが影響していると
考えられる。しかし、けたの変形によって支承部に予想
される回転および水平移動は円滑に行われたといえる。

4. ま と め

本報の実験結果をまとめると、以下のとおりである。
固有振動数については、

- 1) 振幅が大きくなるほど長周期化する傾向があり、固有振動数の振幅依存性が認められた。
- 2) 継手形式では、HTB 継手のけたが他のものより固有振動数が大きい。
- 3) 剛性の違いでは、剛性が大きいけたの方が固有振動数は大きい。

構造減衰については、可動支承部の摩擦力が小さい場合、

- 1) 振幅が大きくなるほど減衰は小さくなり、振幅依存性が認められた。
- 2) 継手形式では、継手なし、溶接継手、HTB 継手の順に減衰が大きくなる。
- 3) 剛性の違いでは、剛性が大きいけたの方が減衰は小さい。

4) 振幅が小さい場合、継手形式の違い、支承部の摩擦およびけたの剛性が減衰に影響を及ぼすが、振幅が大きくなるに従いけたのたわみによる影響が大きくなり、減衰は小さくなる。

支承部の挙動について、

- 1) 回転変位量、水平移動量とも、理論値と実測値は比較的良好に一致した。

5. あとがき

本報の実験では、実橋と模型げたでは諸条件がかなり異なることから、札幌大橋の振動実験と同様の減衰傾向とはならなかったが、明らかに構造減衰の振動依存性が認められた。また、継手形式や剛性の違いによる減衰への影響度を知ることができた。今後は、今回できなかった支承部の摩擦による減衰の傾向を把握し、減衰への影響要因の定量化に向けて作業を進めていきたい。

参 考 文 献

- 1) 桜田昌之, 小玉 茂, 本名一夫: 札幌大橋の耐風安定性について, 開発土木研究所月報 No. 429. pp.

- 1-12, 1989年2月.
- 2) 加藤雅史, 島田静雄: 橋梁実測振動特性の統計解析, 土木学会論文報告集 第311号, pp. 49-58. 1981年7月.
 - 3) 横山功一, 中神陽一, 神嵩一夫, 藤城 隆, 永原 隆, 福田 誠: 日守大橋振動実験報告書. 土木研究所資料 第2251号. 昭和60年8月.
 - 4) 横山功一, 日下部毅明, 神嵩一夫, 東久保正徳: 撫養橋振動実験報告書. 土木研究所資料 第2516号. 昭和62年8月.
 - 5) 阪本 浩, 永井康平, 坂田 弘, 江草 拓: 泊大橋建設工事の概要と風に対する検討. 土木学会論文集 第373号. pp. 93-102. 1986年9月.

*

*

*