

人道橋の固有振動数調整法の提案

A Practical Method for Increasing Fundamental Natural Frequency of Footway Bridges

米田 昌弘*
Masahiro YONEDA

宮地 真一**
Shin-ichi MIYACHI

In designing footway bridges, we have to check the fundamental natural frequency by the request of design standard which is defined in view of bridge serviceability.

In this paper, a simple and economical method by changing support conditions of the footway bridges is proposed to increase fundamental natural frequency.

Feasibility study was also performed for several bridge models. It was found that the natural frequency of footway bridges with modified support conditions could be increased to the required level in the practical design.

Keywords : practical method, footway bridge, fundamental natural frequency, bridge serviceability

1. まえがき

昭和54年に発刊された『立体横断施設技術基準』¹⁾では、利用者に不安感・不快感を与えるような共振現象を避けるための規定として、歩道橋のたわみ固有振動数を歩調域の2 Hz前後(1.5~2.3 Hz)とならないようにすることが明記された。それ以降、歩行者を対象とした側道橋やその他の人道橋についても歩道橋の規定に準拠して固有振動数を歩調域の範囲外に設定することが多いようである。

ところで、支間長が30 mを越えるような長スパンの人道橋を設計する場合、固有振動数が歩調域の2 Hz前後となることが多く、その対策として、主桁剛性を増加させて振動数を調整する方法がしばしば検討されている。しかしながら、主桁断面の大幅な増加は不経済であることから、主桁剛性増加による振動数調整は困難と判断されるケースも少なくない。そこで、人道橋の固有振動数を調整するための経済的かつ効果的な対処方法を提示することは、実務上きわめて意義深いものと考えられる。

このような観点から、本文は、主桁剛性の増加による振動数の上昇が困難な場合の固有振動数調整法として、支点部における主桁の回転を拘束することにより固有振動数を上昇させる方法を提案するものである。

2. 固有振動数調整法の提案

(1) 単純桁橋の固有振動数調整法

単純桁橋の固有振動数を上昇させる手段として、図-1に示すように固定支承側の桁端部を反力支持部材を介して橋台に緊結する方法を提案する。この方法は、桁端部において活荷重による主桁の回転変位を弾性拘束するものであり、顕著な振動数上昇効果を期待できる。ここで、図中に示した固定支承と反力支持部材との距離 $Δl$ としては、部材の設置施工性等を考慮すると最低でも50 cm程度は確保する必要があると考えられる。

(2) 連続桁橋の固有振動数調整法

連続桁橋の固有振動数を上昇させる手段として、図-2に示すように中間支点部に近接した2個の支承を設置することで主桁の回転を拘束する方法を提案する。ただし、活荷重によってこれらの支承に生じる負反力が死荷重による鉛直反力を上回る場合には、主桁の回転拘束効果を十分期待できない。そこで、適用に際しては、通常の使用状況(1 m²あたり1人程度、活荷重70 kg/m²程度)において支承にアップリフトが生じないことを確認する必要がある。ところで、近接した2個の支承に対しては据付誤差等に起因した不均等反力ならびに活荷重満載時のアップリフトの発生が考えられる。したがって、中間支点部支承は、サイドブロックを補強した負反力対応型とし、

*川田工業㈱技術本部振動研究室室長 **川田工業㈱技術本部振動研究室

かつ、許容反力にある程度余裕を持たせたものとする必要がある。

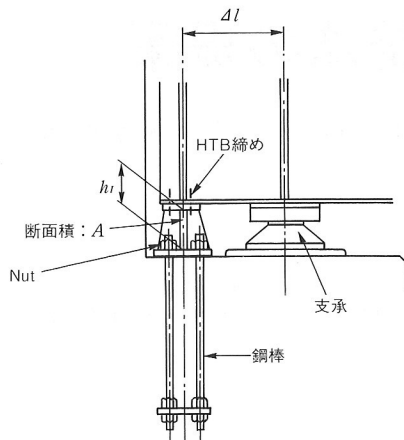


図-1 単純桁橋の固有振動数調整法

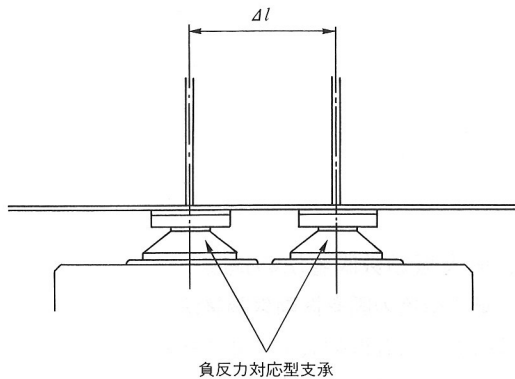


図-2 連続桁橋の固有振動数調整法

3. 固有振動数調整効果について

(1) 単純桁橋の固有振動数上昇効果

図-3に示すように固定支承から Δl だけ離れた桁端部を鉛直ばねで支持した場合の基本固有振動数および振動数上昇率の解析結果を表-1に示す。ここで対象とした橋梁の構造諸元は、2本主桁のRC床版合成桁橋を想定したものであり、解析条件として主桁の断面2次モーメント I 、橋体重量 w およびばね定数 k を主桁2本分の値として表す。また、桁端部をばねで支持したスケルトンとしたのは支持部材の鉛直たわみ剛性を考慮したためであり、そのばね定数 k (t/m/Br.)は次式により算出した。

$$k = \frac{E \cdot A}{h_t} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 E は鋼材のヤング係数 (2.1×10^7 t/m²)、 h_t は反力支持部材長 (0.25 mと仮定)を示す。また、 A は反力支持部材の断面積であり、 $A=100$ cm²/Br. (Case-1)ならびに $A=200$ cm²/Br. (Case-2)の2ケースを設定している。

表-1に示すように、反力支持部材のばね定数 k および

支承との間隔 Δl を適切に設定すれば、支間長 l が50 mの場合でもほぼ十分な振動数上昇効果を期待できる。

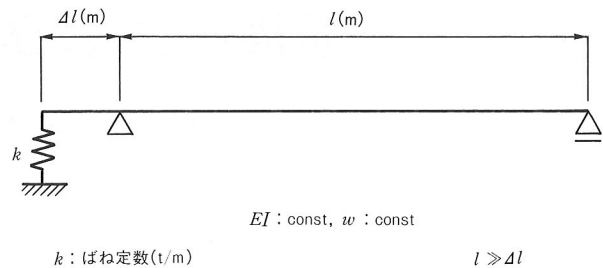


図-3 検討に用いたスケルトン(単純桁橋)

表-1 単純桁橋の固有振動数上昇効果

a) 支間長, $l=30$ m ($I=0.020$ m⁴/Br., $w=3.0$ t/m/Br.)

Δl (m)	Case-1 $k=8.4 \times 10^5$ t/m/Br. ($A=100$ cm ²)		Case-2 $k=16.8 \times 10^5$ t/m/Br. ($A=200$ cm ²)	
	固有振動数(Hz)	振動数上昇率	固有振動数(Hz)	振動数上昇率
0.00	2.044	—	2.044	—
0.30	2.602	1.273	2.786	1.363
0.50	2.862	1.400	2.984	1.460
0.70	2.980	1.458	3.058	1.496
0.90	3.039	1.487	3.091	1.512

b) 支間長, $l=40$ m ($I=0.050$ m⁴/Br., $w=3.0$ t/m/Br.)

Δl (m)	Case-1 $k=8.4 \times 10^5$ t/m/Br. ($A=100$ cm ²)		Case-2 $k=16.8 \times 10^5$ t/m/Br. ($A=200$ cm ²)	
	固有振動数(Hz)	振動数上昇率	固有振動数(Hz)	振動数上昇率
0.00	1.818	—	1.818	—
0.30	2.165	1.191	2.332	1.283
0.50	2.411	1.326	2.558	1.407
0.70	2.554	1.405	2.660	1.463
0.90	2.634	1.449	2.709	1.490

c) 支間長, $l=50$ m ($I=0.110$ m⁴/Br., $w=3.0$ t/m/Br.)

Δl (m)	Case-1 $k=8.4 \times 10^5$ t/m/Br. ($A=100$ cm ²)		Case-2 $k=16.8 \times 10^5$ t/m/Br. ($A=200$ cm ²)	
	固有振動数(Hz)	振動数上昇率	固有振動数(Hz)	振動数上昇率
0.00	1.726	—	1.726	—
0.30	1.947	1.128	2.083	1.207
0.50	2.159	1.251	2.316	1.342
0.70	2.313	1.340	2.446	1.417
0.90	2.413	1.398	2.517	1.458

(2) 連続桁橋の固有振動数上昇効果

連続桁橋の中間支点部に、近接した2個の支承を設置して主桁に十分な回転拘束を与えた場合、図-4に示すように、各径間の固有振動数は一端固定あるいは両端固定の振動数となる。ただし、前述したように通常の使用状況において支承にアップリフトを生じないことが適用条

件となる。そこで、図-5に示すようなスケルトンの片側の径間($l-\Delta l/2$ の部分)のみに活荷重として 70 kg/m^2 を載荷した場合の活荷重反力を求め、これと死荷重反力とを比較することによりアップリフトの検討を行った。なお、ここで用いた構造諸元はRC床版を有する2本主桁の鈑桁橋を想定したものである。その結果、図-6に示すように、支間長 l が50 mの場合でも Δl を60 cm程度以上とすれば通常の使用状況でアップリフトを生じないと考えられる。

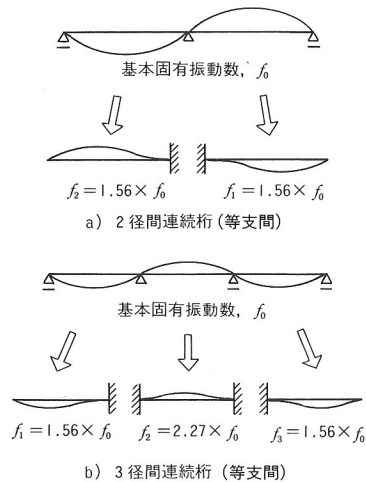


図-4 連続桁橋の固有振動数上昇効果

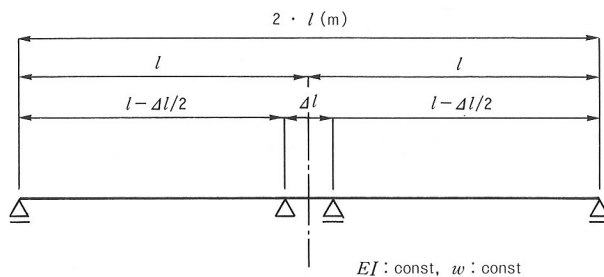


図-5 検討に用いたスケルトン(2径間連続桁橋)

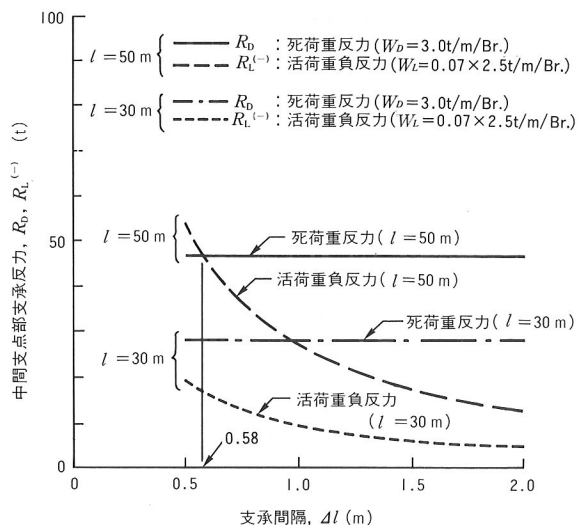


図-6 中間支点反力の検討結果(2径間連続桁橋)

4. 経済性に関する概略検討

(1) 単純桁橋に対する検討

a) 主桁剛性を増加させる場合の鋼重増加量

支間長が40.0 mで幅員が2.5 mの単純RC床版合成桁橋を対象とし、主桁剛性を増加して基本固有振動数を2.3 Hz以上に調整するための鋼重増加量を試算した。ここに、主桁の概略設計に用いた条件および断面形状は表-2、図-7に示すとおりであり、鋼桁腹板高としては表-3に示す3ケースを設定した。その結果を表-4に示す。また、鋼桁断面の変更箇所は支間中央部の断面($l=21.6 \text{ m}$)のみとし、その他の部分は固有振動数に対する影響が小さいことから断面の変更を行わないものと仮定した。

表-2 検討の対象とした単純桁橋の設計条件

橋 格	歩 道 橋
橋 長	40.700 m
桁 長	40.600 m
支 間	40.000 m
有 効 幅 員	2.500 m
全 幅 員	3.300 m
斜 角	90°
床 版	RC床版($t=14.0 \text{ cm}$)
舗 装	アスファルト舗装($t=3.0 \text{ cm}$)

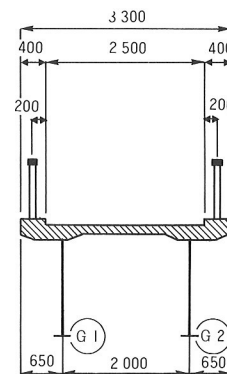


図-7 検討の対象とした桁橋の断面形状

表-3 本検討で設定した鋼桁腹板高

	腹板高, h (mm)	h/l
ケース 1	1400	1/28.5
ケース 2	1600	1/25.0
ケース 3	1800	1/22.2

表-4 主桁剛性の増加による鋼重増加量(単純桁橋)

ケース	基本固有振動数 (Hz)		固有振動数調整による鋼重増加量	
	調整 前	調整 後	増加量 (t/Br.)	備 考
1	1.873	2.303	7.474	0.173 t/m $\times$ 21.6 m $\times$ 2 主桁
2	2.000	2.304	3.067	0.071 t/m $\times$ 21.6 m $\times$ 2 主桁
3	2.156	2.305	1.080	0.025 t/m $\times$ 21.6 m $\times$ 2 主桁

b) 固有振動数調整工費の比較

腹板高が異なるケース1～3のおおのについて、主桁剛性を増加させる場合と支点部で回転を拘束する場合の概略工費を求め、両者を比較した。その結果を図-8に示す。ケース3のように調整前の振動数が2.3 Hzに近い場合を除き、支点部の回転を拘束する対処方法は経済的であると言える。

なお、主桁剛性を増加する場合の調整工費は表-4に示す鋼重増加量から求めたものであり、支点部の回転を拘束する場合の工費は固定支承部の構造変更に関する製作・施工費用を考慮したものである。

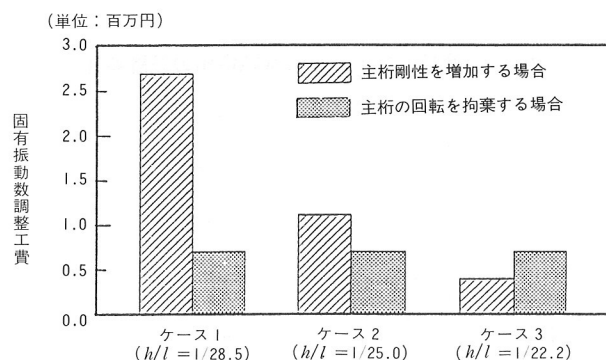


図-8 固有振動数調整工費の概略比較(単純桁橋)

(2) 連続桁橋に対する検討

a) 主桁剛性を増加させる場合の鋼重増加量

支間長が2 @ 40.0 mで幅員が2.5 mの2径間連続非合成桁橋を対象とし、RC床版の剛性を考慮した基本固有振動数を2.3 Hz以上に調整するための鋼重増加量を試算した。その結果を表-6に示す。ここに、主桁の概略設計に用いた条件は表-5に示すとおりである。断面形状および鋼桁腹板高は単純桁の場合で示した図-7、表-3と同じものである。また、鋼桁断面の変更箇所は支間中央部の断面($l = 19.6$ m)のみとし、その他の部分は断面の変更を行わないものと仮定した。

b) 固有振動数調整工費の比較

腹板高が異なるケース1～3のおおのについて、主桁剛性を増加させる場合と支点部で回転を拘束する場合の概略工費を求め、両者を比較した。その結果、図-9に示すように、支点部の回転を拘束する対処方法の経済的有利性は単純桁の場合よりもさらに顕著となった。

なお、主桁剛性を増加する場合の調整工費は表-6に示す鋼重増加量から求めたものであり、支点部の回転を拘束する場合の工費は中間支点部の構造変更に関する材料費(支承等)および施工費を考慮したものである。

5. まとめ

本文は、主桁の支点部に回転拘束を与えることで固有

表-5 検討の対象とした2径間連続桁橋の設計条件

橋	格	歩 道 橋
橋	長	80.700 m
桁	長	80.600 m
支	間	2 @ 40.000 m
有 効 幅 員		2.500 m
全 幅 員		3.300 m
斜 角		90°
床 版		RC床版($t = 14.0$ cm)
舗 装		アスファルト舗装($t = 3.0$ cm)

表-6 主桁剛性の増加による鋼重増加量(2径間連続桁橋)

ケース	基本固有振動数(Hz)		固有振動数調整による鋼重増加量	
	調整 前	調整 後	増加量(t/Br.)	備 考
1	1.600	2.301	21.403	0.273 t/m×19.6 m×2ヶ所×2主桁
2	1.747	2.303	9.408	0.120 t/m×19.6 m×2ヶ所×2主桁
3	1.901	2.306	4.861	0.062 t/m×19.6 m×2ヶ所×2主桁

注) 上表中の固有振動数は、RC床版の剛性を考慮したものである。

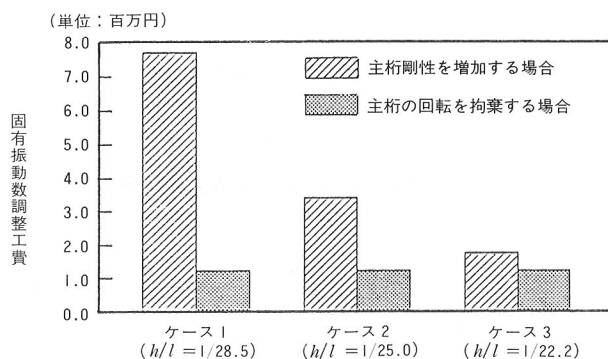


図-9 固有振動数調整工費の概略比較(2径間連続桁橋)

振動数を上昇させる方法を提案したものである。すなわち、連続桁については中間支点部を近接した2個の支承で支持し、単純桁については桁端部に反力支持部材を設けることで、顕著な振動数調整効果を期待できる。さらに、経済性に関する概略検討の結果、本文で提案した振動数調整法は、主桁剛性増加による振動数の上昇が困難な場合において有用な調整法となり得ることが判った。

今後、実用化に向けての施工面の検討とともに、実験による振動数上昇効果の確認が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：立体横断施設技術基準・同解説，pp. 35～37，昭和54年1月。
- 2) 米田昌弘・宮地真一：側道橋の固有振動数調整法に関する試験検討，土木学会関西支部平成3年度年次学術講演会講演概要集，I-98，1991年6月。