

桁橋の移動荷重による動的応答に対する制振装置の開発

大阪大学工学部 正員 川谷 充郎 大阪大学大学院 学生員 ○西山 誠治
 大阪大学工学部 学生員 木本 明男 (株)森技術研究所 森 淳彦

1. まえがき 長大橋梁あるいは高層ビルでの振動制御が注目されているが、道路橋の走行車両による動的応答について、その制振の実績は少ない^{1)~2)}。道路橋における試験車走行実験によれば、大型ダンブトラックの走行速度が変わると、主桁動的応答の周波数の変化することが分かった³⁾。また、このような動的応答は、振幅と周波数が車両の通過と共に変化する過渡的な応答特性を有する。この種の動的挙動を制御しようとするとき、パッシブ方式の動吸振器(TMD)では周波数の変化に対応できず、制振効果が悪くなる。そのような場合に、効果的なのはアクティブな制振装置であるが、アクチュエータ駆動のための大型動力設備を要し、通常の都市内高架橋に用いられる桁橋において、大きな設備の制振装置は適さない。筆者らはTMDを小さなアクチュエータ駆動力で制御し、制振効果を高めるハイブリッド方式を開発している⁴⁾。ここでは、制振装置の概要を紹介し、模型桁に対する制振効果の実験結果を報告する。

2. 振動制御装置の概要 (1) **橋桁制振装置** 制振装置を実橋に設置する場合は橋桁内に納まるようにコンパクトにする必要があるため、制振質量を板ばねで支持する片持ち梁を基本系とする。その固有振動数は橋桁のそれにほぼ一致させ、パッシブな性質を持たせる。制御力を加えるACサーボモータと制振質量とは、プーリーおよびタイミングベルトにより結合させる。橋桁に加速度センサーを取付け、制振質量の変位を橋桁に追従させる位置サーボ系を構成する。本ハイブリッド型制振装置の基本仕様をTable 1に掲げる。

(2) **振動制御システムの構成** Fig. 1の構成ブロック図に示すごとく、Table 1. Properties of hybrid control system

桁模型の中央部に本制振装置を取り付ける。桁の同一箇所に取り付けた加速度計からの出力 $\ddot{Z}$ より制振質量の変位指令信号 $X_0 = AZ + B\dot{Z} + C\ddot{Z}$ (A, B, C は定数)を算出する。この制振装置の変位指令 X_0 に対する実変位 X の周波数応答は、Fig. 2に示す振幅および位相特性を持ち、5 Hz程度の卓越振動数を有する桁模型に対しては、一応有効な応答性があると言える。

正弦波振動について考えるとき、制振質量の変位 X を桁の振動速度 $\dot{Z}$ に正比例させるためには、定数 B のみを最適値に設定し、定数 A と C は0でよいことになる。しかし、このような制御系では、本質的に高周波数領域ほど制御ループゲインが増加するために、必要な制御ゲインに達するまで定数 B を大きくする前に、高次の共振モードでの自励発振に陥る傾向を常に持っている。この自励振発生対策として、本制振装置では加速度信号増幅器にローパスフィルターを加え、高い周波数でのゲインを意識的に低下させた。もちろんこのために、桁の卓越振動数での位相遅れを生じるので、定数 A あるいは C を調整して、 $\ddot{Z}$ 信号に対する直角成分の信号を加算し、位相遅れを補正する。ここでは、定数 A のみを調整し、 C は常に0とした。Fig. 3に桁の加速度信号 $\ddot{Z}$ に対する制振質量の実変位 X の周波数応答特性を示す。当初、対象とする桁の応答周波数を3 Hzとしていたため、 $A=B=1000$ (それぞれ目盛り0~1000は定数0~1.000に対応)

Control mass	3.066 kg
Natural frequency	3.0~4.0 Hz
Displacement of control mass	± 35 mm

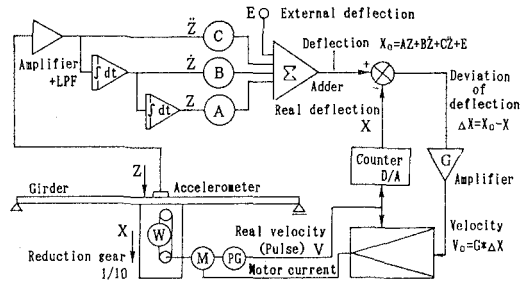


Fig. 1 Block diagram of control system

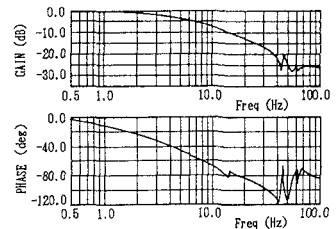


Fig. 2 Frequency response characteristics for deflection X .

Mitsuo KAWATANI, Seiji NISHIYAMA, Akio KIMOTO and Atsuhiko MORI

3. 桁橋模型実験 模型桁として、長さ5.5mのH型鋼を弱軸まわりに用い、支間長を5.4mとした。付加質量（等間隔配置、9個合計42.94kgf）および制振装置の重量16.21kgfを加えた模型桁の固有振動数は5.08Hzとなった。模型桁の構造諸元をTable 2に掲げる。

(2) 台車走行実験 Fig. 5 に示すように、移動荷重に相当する戸車付台車を製作し、振動を励起するように、ガイドレール上 30cm 間隔に人工段差（高さ 0.6mm，幅 19mm）を設けて台車走行実験を行った。

Figure 1 consists of four subplots arranged in a 2x2 grid. The top row shows the phase of the transfer function in degrees versus frequency in Hz on a logarithmic scale from 1.0 to 10.0. The bottom row shows the amplitude of the control mass in units of $m/0.4g$ versus frequency in Hz on the same logarithmic scale. The left column (a) corresponds to $A=0, B=1000$ and the right column (b) corresponds to $A=1000, B=1000$.

- Top-left plot (a):** Phase (deg) vs Frequency (Hz). The phase decreases linearly from approximately -60 degrees at 1.0 Hz to -200 degrees at 10.0 Hz.
- Top-right plot (b):** Phase (deg) vs Frequency (Hz). The phase decreases linearly from 0 degrees at 1.0 Hz to approximately -200 degrees at 10.0 Hz.
- Bottom-left plot (a):** Amplitude of Control Mass ($m/0.4g$) vs Frequency (Hz). The amplitude starts at approximately 10 at 1.0 Hz and decreases to about 2 at 10.0 Hz.
- Bottom-right plot (b):** Amplitude of Control Mass ($m/0.4g$) vs Frequency (Hz). The amplitude starts at approximately 30 at 1.0 Hz and decreases to about 2 at 10.0 Hz.

Fig. 3 Frequency response characteristics
for acceleration $\ddot{z}$

Table 2 Structural properties of model girder

Span length	5.4 (m)
Cross sectional area	21.90 (cm ²)
Weight per unit length	17.2 (kgf/m)
Moment of inertia of area (I _y)	134 (cm ⁴)
Additional mass (9 blocks)	42.94 (kgf)

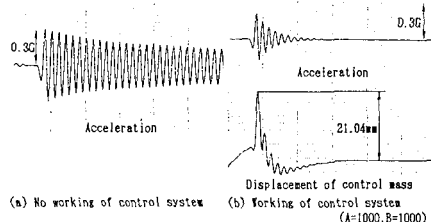


Fig. 4 Damped free vibration of model girder

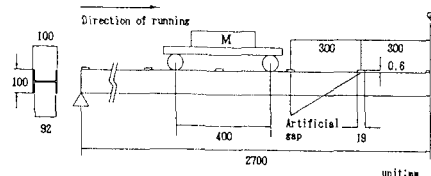


Fig.5 Model girder and moving load

Table 3 Damped free vibration of model girder

Control system		Amplitude (mm) (G)	Number of wave	Logarithmic decrement	Natural frequency (Hz)	Displacement of control mass (mm)
no working	dis.	2.86-1.86	9	0.0182	5.08	-----
A.B-0	acc.	0.298 0.197		0.0235		
working	dis.	2.40 1.23	4	0.0888	5.19	-12.24
A.B-500	acc.	0.272-0.124		0.101		
working	dis.	1.47 0.270	4	0.224	5.40	-21.04
A.B-1000	acc.	0.202-0.046		0.202		

参考文献

- 1) 矢作 樞・吉田和彦：土木学会論文集，第365号／Ⅰ-8，pp. 435-444，1985. 4.
- 2) 梶川康夫・神野 真・宇藤 滋・松浦康夫・伊関治郎：土木学会 構造工字論文集，Vol. 35A，pp. 585-595，1989. 3.
- 3) 難波宗行・川谷充郎・林 秀侃・中村一平・西星匡博：土木学会 第45回年次学術講演会 講演概要集，1-875，1990. 9.
- 4) 川谷充郎・森 淳彦：土木学会 振動制御コロキウム講演論文集，pp. 197-204，1991. 7.

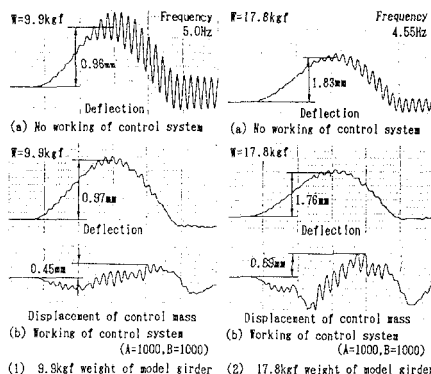


Fig. 6 Dynamic response of model girder under moving load