

## 歩道橋の振動と制御

日本大学理工学部教授 正会員 ○塩尻 弘雄  
 前田建設工業株式会社 有城 和哉  
 日本大学大学院理工学研究科 吉野 隆志  
 日本大学理工学部専任講師 正会員 小林 義和

### 1. 目的

近年合理的な設計や改修に向け、土木構造物への制振技術の適用拡大が望まれている。また、既存構造物に対し適切な評価と対策を施すことにより、寿命延伸や使用性の向上が図れる。ここでは小規模橋梁である歩道橋を対象として、その加速度や変位をモニタリングし、その結果に基づき、歩道橋の振動の低減、使用性の向上を目的とした簡易な振動制御システムを開発する。制御システムは TMD（チューンド・マス・ダンパー）を用いたパッシブ制御とアクチュエータ等を用いたアクティブ制御とし、そのための構造同定と制御系の設計、振動制御システムの効果の確認を行う。

### 2. 方法



写真 - 1 対象歩道橋

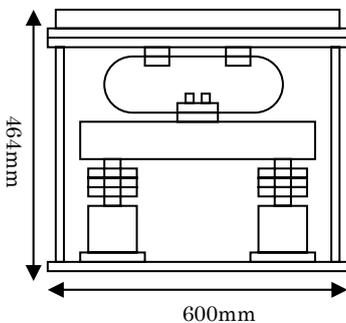


図 - 1 TMD



写真 - 2 アクチュエータ

対象とするのは橋長 36.3m、桁部重量 309N、一次の固有振動数 2.19Hz、二次の固有振動数 5.30Hz の実在歩道橋である。その特性を把握するため歩行踏力またはアクチュエータの起振力によって実際に振動させ、そのときの加速度、変位応答を計測した。

### 3. 結果と考察

#### ①実験結果

歩道橋実験には図 - 1 に示す重量 100kgw、錘部の重量 50kgw、固有振動数 2.2Hz、減衰比 0.024 の TMD を使用し、その効果について検証した。

図 - 3 に歩道橋の固有振動数に一致する 2.2Hz で歩行した場合の応答と TMD を加えた場合の応答を示す。この結果から TMD により、応答が大幅に低減していることが示される。

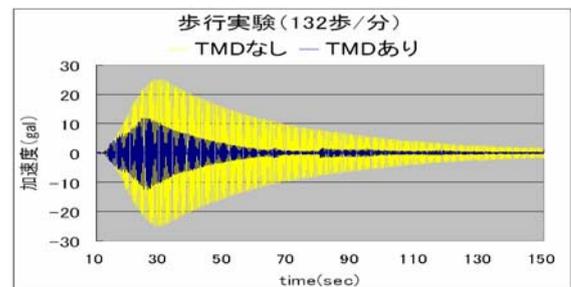


図 - 2 歩道橋の応答

そこで起振実験における各振動数での振幅及び位相から同定した。

$$\begin{cases} f = (-\omega^2 M + i\omega C + K)X \\ K = M\Omega^2 \end{cases} \quad (1)$$

この結果、歩道橋の質量 9524kg、減衰係数 764Ns/m、剛性  $1.81 \times 10^6 \text{N/m}$  を得た。

キーワード：歩道橋，アクティブ制御，パッシブ制御，歩行踏力

連絡先：〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14 日本大学理工学部土木工学科 Tel:03-3259-0876

②制御システム

制御システムは本研究室の所有するアクチュエータを使用し、AMDとして制御するものとした。AMDの場合、アクチュエータの特性を考慮して、簡単のため1自由度系を考えると、運動方程式は次のようになる。

$$\begin{cases} (M_s + M_f)\ddot{X} + C_s\dot{X} + K_s X + C(\dot{X} - \dot{x}) + K(X - x) = -K'_a I + f \\ (M + m)\ddot{x} + C(\dot{x} - \dot{X}) + K(x - X) = K'_a I \\ L'_a \frac{dI}{dt} + R'_a I = e - K'_a \dot{x} \end{cases} \quad (2)$$

$$\left( \begin{matrix} L'_a = \frac{L_a}{d^2} & R'_a = \frac{R_a}{d^2} & K'_a = \frac{K_a}{d} & I = \frac{i}{d} \end{matrix} \right)$$

ここで、X、xはそれぞれ構造物、TMDの変位、eはアクチュエータに加えられる制御電圧、iはそれにより流れる電流、M、Cはアクチュエータの質量と減衰、M<sub>f</sub>はアクチュエータの固定部質量、fはアクチュエータから加えられる力、L<sub>a</sub>、R<sub>a</sub>はアクチュエータの電気回路のインダクタンスと抵抗、dは電圧のアンプの倍率、K<sub>a</sub>は起電力に関わる係数、M<sub>s</sub>、C<sub>s</sub>、K<sub>s</sub>、構造物の質量、減衰剛性、mはTMDの質量である。

アクチュエータの特性を推定するため、次式のようなアクチュエータの運動方程式と電流の式を考える。

$$\begin{cases} L'_a \frac{dI}{dt} + R'_a I = e - K'_a v \\ Ma + Cv = K'_a I \end{cases} \quad (3)$$

アクチュエータの各振動数の入力(電圧)と出力(加速度)の振幅及び位相から、L<sub>a</sub>、R<sub>a</sub>、K<sub>a</sub>について同定した。推定した値を表1に記す。

表1 推定したアクチュエータの特性値

	L <sub>a</sub> (H)	R <sub>a</sub> (Ω)	K <sub>a</sub> (Vs/m)
推定値	0.0043	0.1151	8.9012

③制御シミュレーション

制御法は線形レギュレータ、定常制御で行うものとする。制御の効果を把握するため「制御なし」・「TMD」・アクチュエータを用いた「AMD」・TMDの可動部をアクチュエータで制御する「アクティブTMD」とし、比較する。別途計測した歩行踏力を加えて同定した構造物、アクチュエータの特性を用いて計算を行った。歩道橋の各加速度応答結果を図-3に記す。制御なし、TMDについての応答は、実測値とほぼ一致した。ここでアクチュエータの最大性能は500Nで

ある。アクティブ制御ではTMD以上の効果が得られる。このときのアクチュエータの最大制御力はAMD、アクティブTMDでそれぞれ29.7N、30.8Nとアクチュエータの最大性能の十分許容内である。さらに、アクチュエータの30秒間の総必要電力はそれぞれ-0.92J、-0.80Jとなった。これは電力を消費するのではなく、蓄蔵可能であるといえる。また、アクティブTMDよりAMDの方がよりエネルギーを吸収している。

4. 結論

歩道橋実験の結果からは、TMDの効果が顕著にみられる。シミュレーションからは、アクティブ制御でTMD以上の減衰効果が示された。さらに所有しているアクチュエータの性能で十分対応可能であり、場合によっては蓄電池にエネルギーを蓄えながら長期使用が可能といえる。以上より実在歩道橋への適用性が示された。

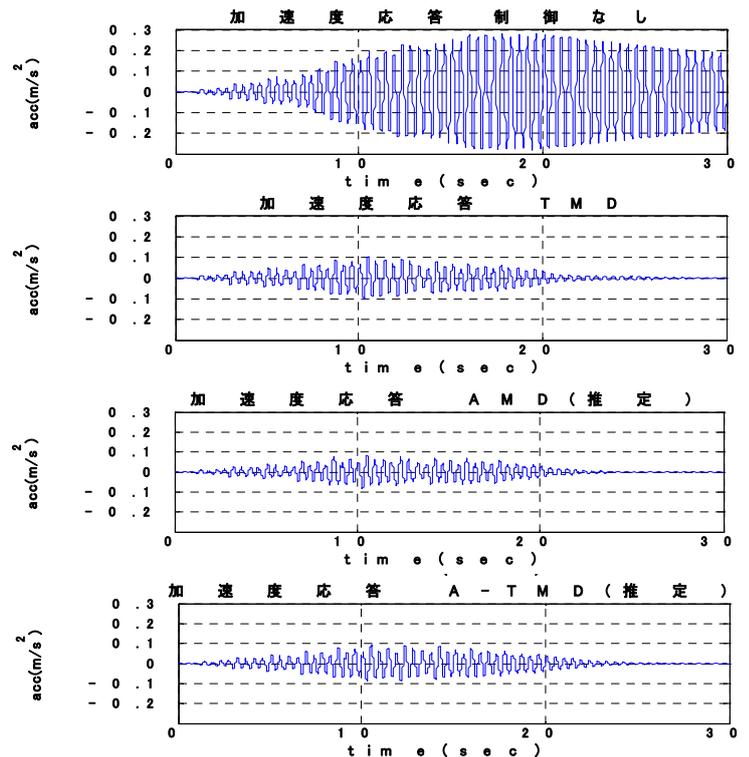


図-3 各ケースの加速度

参考文献

塩尻弘雄，横川英彰，アブドラ・アブリカム，青木茂「簡易モニタリング・振動制御システム」第3回日本制振シンポジウム論文