

# プロップ式ダンパーを用いた制振壁の模型実験と解析

豊田 泰史<sup>\*1</sup>・島崎 洋治<sup>\*2</sup>

## Effect of Prop-Type Damper on Vibration of a Simple Frame Structure

by

Yasushi TOYODA<sup>\*1</sup>, Yoji SHIMAZAKI<sup>\*2</sup>

(Received on March 19, 2009 and Accepted on May 25, 2009)

### Abstract

We present a prop-type damper that can control the undesired vibration of a simple frame structure. The damper consists of a prop and damping material, and is placed between the column and tip of the prop at a suitable angle. During the horizontal vibration of the structure, the damping material at the tip of the prop converts horizontal vibration into vertical vibration. The vertical motion of the damping material enables vibration of simple structure to decrease effectively. An all-purpose software for solving three-dimensional framework analysis is used to clarify the effects of the prop-type damper.

**Keywords:** Structural control, Passive control, Numerical analysis

### 1. まえがき

1995年の阪神・淡路大震災を契機に、建築物における地震安全対策の重要性が大きくクローズアップされ、数多くの高層建築はもとより、最近では戸建住宅を含む中低層建築に地震時の大きな揺れを吸収する制振装置が採用されている<sup>1)</sup>。しかしながら従来の制振装置は、その性能を確実に発揮するために装置の機構が複雑化し、装置そのものが大きくなり、メンテナンスや製作コストが高くなるなどの問題がある。これらの装置が安価に製作できるようになれば、建物所有者や居住者が耐震改修を積極的に行う動機付けとなり、耐震化率向上に寄与することが期待される<sup>1)</sup>。

建物の制振システムは、振動エネルギーを吸収する装置として外部供給エネルギーを必要とするアクティブ方式とこれを必要としないパッシブ方式に分類することができる。Fig. 1に示すようなパッシブ方式による制振は、主構造内の各層に各種の付加減衰装置（ダンパー）を組み込み、振動エネルギーを吸収させて振動を抑制するもので、金属の塑性エネルギーを利用した履歴ダンパー、粘（弾）性体の粘性抵抗を利用した粘（弾）性ダンパー、摩擦抵抗を利用した摩擦ダンパーなどが実用化されている。

ここでは、新しいタイプの制振壁装置として、プロップ式ダンパーを提案する。この装置は Fig. 2に示すような、1層ラーメン構造モデルの床部に固定したプロップ部材（つかえ棒）の先端に減衰材料

を取り付け、ラーメンの柱部とこれを連結する構造になっている。この構造は柱部の水平方向の振動に対しダンパーが鉛直方向にせん断変形することにより柱部の振動を吸収することが特徴である<sup>3-8)</sup>。



Fig.1 Damping Wall

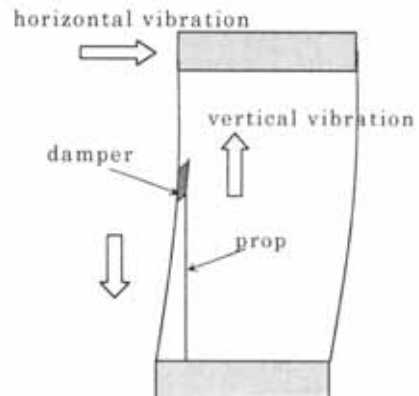


Fig.2 Prop-type damper

\*1 工学研究科土木工学専攻

\*2 土木工学科 教授

プロップ式ダンパーは、図に示したように従来の横方向に設置するダンパーと比較して、格段に構造を簡単化することができる。このことは、壁体内に組み込むだけの簡単な施工で、単純な機構により余分なスペースをとらずに装置を配置することができることを示している。

本研究では、提案するプロップ式ダンパーの自由振動に対する減衰効果を 1 層ラーメン模型により実験的に検証し、さらに 3 次元骨組構造解析プログラムによる数値解析によりこの効果を確認する。

### 2. 実験模型

実験模型は Fig. 3 に示すように、アルミニウム製の部材を組み合わせた 1 層ラーメン構造で、梁と柱は剛結合となるように、梁の両面にはアルミニウム製の板をかぶせてその上から 2 本のネジでとめてある。アルミニウムのヤング係数は 70.3 GPa で、各部材の寸法および質量は Table 1 に示すとおりである。取り付けるプロップ部材もアルミニウム製で、床端部から 75 mm の地点に固定してある。またプロップの先端には両面テープが貼り付けられていて、柱部の中央（高さ 210 mm）の地点で連結してある。

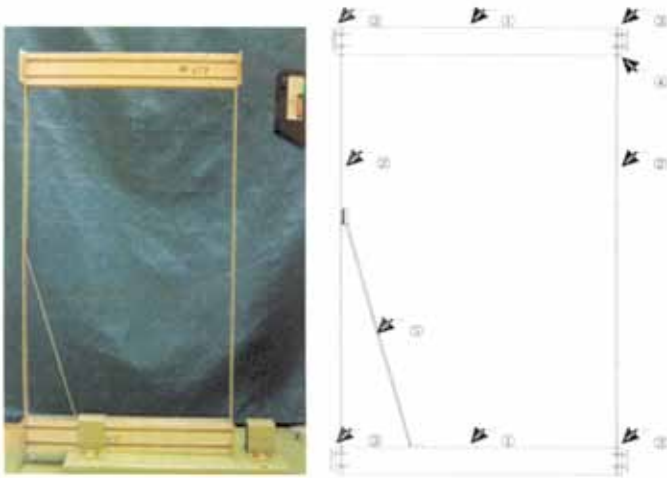


Fig. 3 Model structure

Table 1 Material list of model structure

Number	Dimension(mm)	Mass(g)	No. of pcs	Total(g)
①Brace	40×300×20	213.5	2	427
②Column	500×1.8×19.5	53.8	2	107.6
③Plate	40×3×59.5	17.6	4	70.4
④Screw	Φ4.0	1.5	8	12
⑤Prop	223×0.8×10	5.8	1	5.8

### 3. 実験方法

プロップ式ダンパーの減衰効果を確認するために、アルミニウム製の 1 層ラーメン構造模型を床に固定して、非制振時とダンパーを取り付けた制振時の自由振動実験を行った。応答変位の計測にはレーザー変位計を使用し、実験から得られた変位応答波形から減衰定数(h)と固有振動数を求めた。実験は制振時、非制振時ともに梁端部に初期変位 11 mm を与え、一方向のみにせん断振動をさせた。このときのサンプリング時間は 1 msec とし、15 秒間計測した。制振時の自由振動実験では、プロップ部材の先端に取り付ける粘性材料の両面テープの面積の大きさを 1 mm<sup>2</sup>、5 mm<sup>2</sup>、9 mm<sup>2</sup> の 3 パターン用意し、それぞれについて自由振動実験を行い、提案するダンパーの制振効果を確認した。

### 4. 解析方法

解析は、3 次元解析ソフト TDAPⅢLT を用いた。解析対象構造物モデルは、実験模型と同じものとし、構造模型の h 値は実験から得られた値で 0.0023、またアルミニウムのポアソン比は 0.345、単位体積重量は 275 N/m<sup>3</sup> とした。粘性材料として用いた両面テープの厚さとして 0.5 mm を与えた。解析に使用する粘性材料モデルはせん断方向のみに自由度があると仮定してある。

Fig. 4 は解析モデルで 46 節点、42 要素の有限要素からなっている。

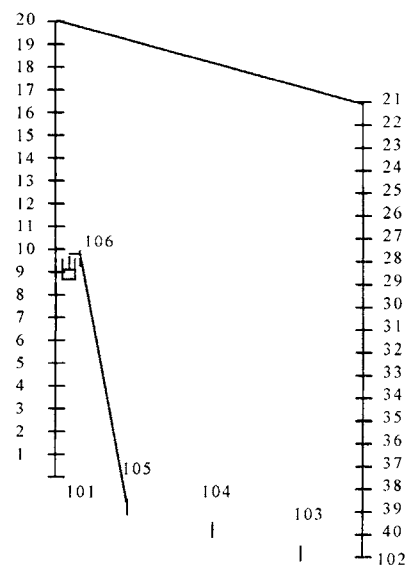


Fig.4 Finite Element Mesh

使用した解析プログラムでは変位を初期値として与えられないので、Fig. 4 に示す節点番号 20 の水平方向に 10 kN のインパクトを 0.01 秒間作用させて自由振動をさせ、その時の変位応答解析を 14.5 秒間行った。この 10 kN のインパクトは数値解析

での最大変位が、模型実験時に与えた最大変位である初期変位とほぼ同じ 11 mm になる値である。

### 5. 実験および解析結果

Fig. 5 は実験による変位応答波形を示したものである。Fig. 5-a)は非制振時の波形である。このときの固有振動数は 4.64 Hz であった。Fig. 5-b)は 1 mm<sup>2</sup>、Fig. 5-c)は 9 mm<sup>2</sup>の両面テープを粘性材料として用いたときの波形である。どちらの場合も、固有振動数は非制振時のそれよりも 0.2 Hz 程大きくなり、プロップにより構造物が少し剛になったことが分かった。

Fig. 6 は数値解析による振動の変位応答解析結果

である。Fig. 6-a)は、非制振時の解析結果で、Fig. 5-a)とほぼ同じ変位応答波形になっていることが分かる。またこのときの固有振動数は 4.95 Hz で、解析時には柱と梁部が完全固定条件であるために、実験時よりも少し早い振動数になっている。Fig. 6-b)と c)は、実験で求めた Fig. 5-b)と c)それぞれの減衰定数(h)になるように両面テープの減衰係数値(C)を逆算して求めて得た波形である。

Fig. 5-b)と Fig. 6-b)を比較すると約 5 秒経過後あたりから揺れがおさまっているが、減衰の仕方が実験と解析では少し異なっていることが観察される。実験で得られた応答波形は、粘性減衰だけではなく、

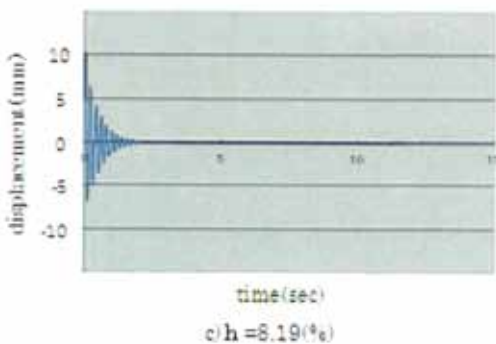
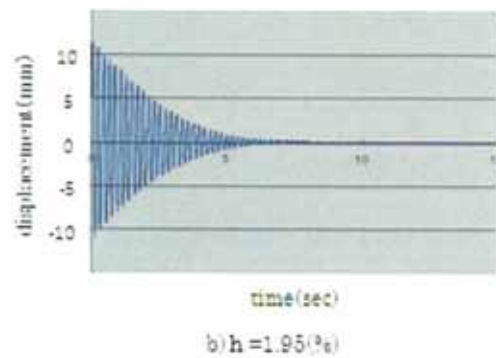
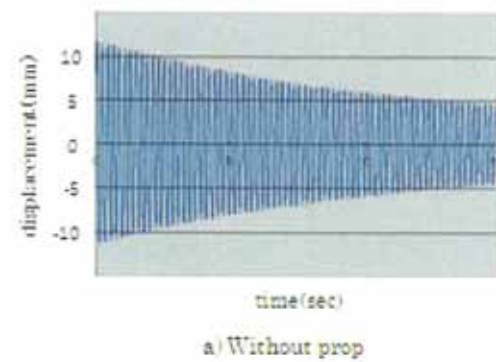


Fig. 5 Experimental result

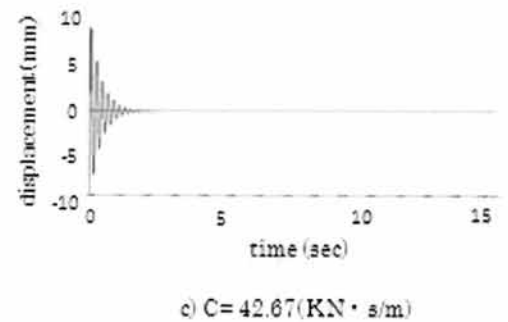
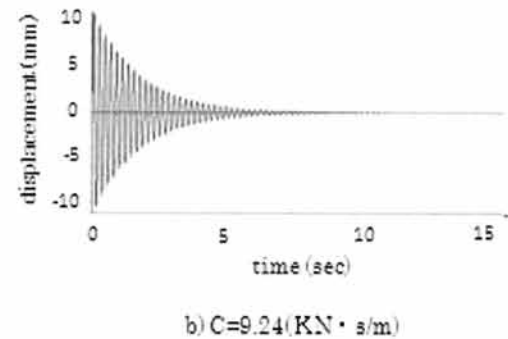
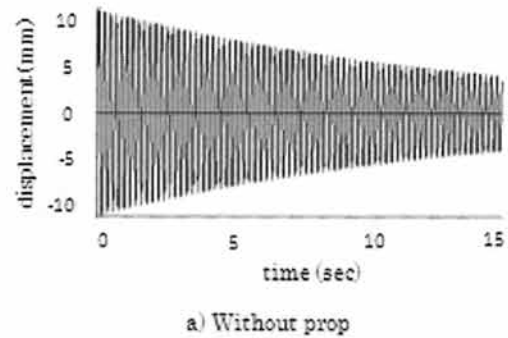


Fig. 6 Numerical Analyses result

たとえばクーロン摩擦による減衰も含まれているような波形になっている。これに対して、解析では粘性減衰のみを考慮したために、実験で求めた波形より小さめの変位曲線で減衰していることが観察できる。Fig. 6-c)は Fig. 5-c)と同様、本研究で最適と思われる制振効果が得られた結果である。これらの図から分かるように解析は実験結果をよくシミュレートすることができている。固有振動数はどちらの場合も、非制振時より 0.02 Hz 程速くなった。

Table 2 は実験で求めた h 値と解析プログラムで逆算して求めた C 値の比較を示したものである。実験から求めた h 値を比較してみると、制振時には非制振時に比べて最大で 35 倍余りの減衰効果が得られていることが分かる。

Table 2 Damping of model structure

	Experiment			
	Without prop	1mm <sup>2</sup>	5mm <sup>2</sup>	9mm <sup>2</sup>
S (kN · s/m)	—	—	—	—
h (%)	0.23	1.95	5.01	8.19
	Analysis			
	Without prop	1mm <sup>2</sup>	5mm <sup>2</sup>	9mm <sup>2</sup>
C (kN · s/m)	—	9.24	25.6	42.67
h (%)	0.23	—	—	—

Table 3 は、プロップ先端の粘性材料の C 値を 10 から 50kN · s/m まで 10 刻みで変化させた時の構造物の h 値の解析結果で、C 値に対する h 値の変化を示してある。

Table 3 Result of numerical analyses

C (kN · s/m)	0	10	20	30	40	50
h (%)	0.23	2.09	3.96	5.84	7.69	9.55

Fig.7 は、Table 2 の実験および Table 3 の解析で得られた C 値と h 値の関係をプロットしたものである。この表から実験も解析も、プロップ先端の減衰係数が大きくなると構造物の減衰定数も直線的に大きくなることが分かる。

## 6. あとがき

本研究では、プロップ式ダンパーを 1 層ラーメン模型に適用して模型実験による変位応答計測を行い、汎用の骨組み構造解析ソフトで変位応答解析を行った。本研究で提案したプロップ式ダンパーを用

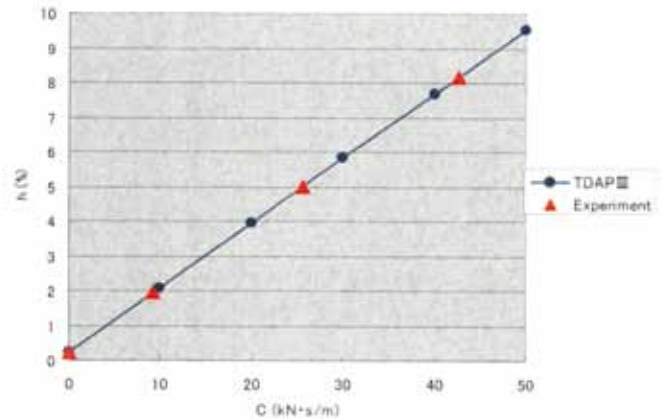


Fig.7 Damping coefficient versus constant

いることで、構造物の振動は格段に小さくなり、提案するダンパーの有効性を示すことができた。

本研究では、プロップ部材の断面 2 次モーメントとして柱の 1/20 程度の部材を使用した。この部材の座屈や曲げに対する強度の検討は今後の課題であるが、汎用プログラムによる解析で、このダンパーの実構造物への適用可能性も示唆することができた。

## 参考文献

- 1) 日本振動技術協会：振動技術総覧 2005.
- 2) 山口宏樹：構造振動・制御，共立出版，1996.
- 3) 比江島慎二 他：桁端ダンパーによる橋梁の交通振動の軽減，土木学会論文集，No.465/I-23，pp.107-116，1993.
- 4) 安田克典 他：橋梁用制振装置（キールダンパー），橋梁と基礎，pp.25-31，2004.
- 5) 坂本憲靖 他：プロップ式ダンパーによる片持ち梁の減衰について，第 30 回土木学会関東支部技術研究発表会概要集，Disc,FileNo.00303，2002.
- 6) 松山俊樹 他：せん断型制振構造体の自由振動実験と解析，東海大学紀要工学部，Vol.41，pp.83-86，2001.
- 7) 池上俊輔 他：3 スパン高架橋のプロップ式ダンパーによる制振解析，東海大学紀要工学部，Vol.46，No.1，pp.35-38，2006.
- 8) Toyoda, Y., et.al.: Effect of Prop-Type Damper on the Vibration of a Three-Span Continuous Bridge, 4<sup>th</sup> World Conference on Structural Control and Monitoring, 4WCSCM-103, 2006.