

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4968682号
(P4968682)

(45) 発行日 平成24年7月4日(2012.7.4)

(24) 登録日 平成24年4月13日(2012.4.13)

(51) Int.Cl. F I
F 1 6 F 15/02 (2006.01) F 1 6 F 15/02 C
E 0 4 H 9/02 (2006.01) E 0 4 H 9/02 3 4 1 A

請求項の数 2 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2007-210213 (P2007-210213)	(73) 特許権者	000002299 清水建設株式会社 東京都港区芝浦一丁目2番3号
(22) 出願日	平成19年8月10日(2007.8.10)	(74) 代理人	100064908 弁理士 志賀 正武
(65) 公開番号	特開2008-133947 (P2008-133947A)	(74) 代理人	100108578 弁理士 高橋 詔男
(43) 公開日	平成20年6月12日(2008.6.12)	(74) 代理人	100089037 弁理士 渡邊 隆
審査請求日	平成21年12月25日(2009.12.25)	(72) 発明者	磯田 和彦 東京都港区芝浦一丁目2番3号 清水建設株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2006-287833 (P2006-287833)	審査官	村山 禎恒
(32) 優先日	平成18年10月23日(2006.10.23)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 振動低減機構およびその諸元設定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

多層構造物の振動を低減する機構であって、

多層構造物の任意の層に、層間変形によって作動して錘の回転により回転慣性質量を生じる回転慣性質量ダンパーを設置するとともに、該回転慣性質量ダンパーと直列に付加バネを設置し、回転慣性質量と付加バネとにより定まる固有振動数を前記多層構造物の固有振動数や共振が問題となる特定振動数に同調させることを特徴とする振動低減機構。

【請求項2】

多層構造物の振動を低減する機構の諸元設定方法であって、

多層構造物の任意の層に、層間変形によって作動して錘の回転により回転慣性質量を生じる回転慣性質量ダンパーを設置するとともに、該回転慣性質量ダンパーと直列に付加バネを設置し、回転慣性質量と付加バネとにより定まる固有振動数を前記多層構造物の固有振動数や共振が問題となる特定振動数に同調させるように回転慣性質量ダンパーと付加バネの諸元を設定することを特徴とする振動低減機構の諸元設定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、たとえば高層建物等の多層構造物の振動を低減させるための振動低減機構、およびその諸元設定方法に関する。

【背景技術】

【 0 0 0 2 】

構造物の振動を低減するための機構として、たとえば特許文献 1 に示されているような所謂チューンド・マス・ダンパー (Tuned Mass Damper : T M D) が知られている。これは、構造物に付加バネを介して付加質量を接続し、それらの付加バネと付加質量により定まる固有振動数を構造物の固有振動数に同調させることにより、構造物の共振点近傍における応答を低減するものである。

【特許文献 1】特開昭 6 3 - 1 5 6 1 7 1 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 3 】

従来一般の T M D は大きな振動低減効果を得るためには付加質量を大きくする必要があり、必然的に大型大重量とならざるを得ないが、構造物にあまり大きな質量を付加することは好ましくないし、T M D が大型大重量になるほど設置位置や設置スペースについての制約も大きくなるので、通常は付加質量を構造物の全質量の 1 ~ 2 % 程度とすることが現実的であり、したがって振動低減効果にも自ずと限界がある。

また、従来一般の T M D は建物の頂部に設置することが効果的であるので、屋上等に設置スペースを確保する必要があるし、それを設置するうえでは建築計画上の制約を受けることも多い。

【 0 0 0 4 】

上記事情に鑑み、本発明は原理的には T M D と同様に機能するものの、従来一般の T M D のように過大な付加質量を必要とせず、また設置位置に対する制約や設置箇所数も少なく、特に高層建物等の多層構造物に適用して十分な振動低減効果が得られる有効な振動低減機構とその諸元設定方法を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 5 】

本発明の振動低減機構およびその諸元設定方法は、多層構造物の任意の層に、層間変形によって作動して錘の回転により回転慣性質量を生じる回転慣性質量ダンパーを設置するとともに、該回転慣性質量ダンパーと直列に付加バネを設置し、回転慣性質量と付加バネとにより定まる固有振動数を前記多層構造物の固有振動数や共振が問題となる特定振動数に同調させるようにしたものである。

なお、回転慣性質量とは、2 点間の相対加速度に比例した力を生じる質量効果であり、慣性接続要素と呼称されることもある。

【発明の効果】

【 0 0 0 6 】

本発明によれば、従来一般の T M D における付加質量に代えて、小質量の錘を回転させる構成の小形軽量でコンパクトな回転慣性質量ダンパーと、それに直列した小さな付加バネを設置するのみで、錘の実際の質量の 1 0 ~ 1 0 0 0 倍もの大きな付加質量を付加したことと等価となり、それにより大きな振動低減効果が得られる。特に、従来の T M D では付加質量の大きさを構造物の質量の 1 ~ 2 % 程度とすることが限度であって振動低減効果も自ずと限界があったが、本発明によれば構造物の質量の 1 0 ~ 5 0 % ないしそれ以上の回転慣性質量を支障なく容易に得ることができ、それにより従来一般の T M D による場合に比べて格段に優れた振動低減効果を得ることができ、風や交通振動のような小振幅の振動のみならず地震時の応答低減にも有効である。

しかも本発明は、回転慣性質量ダンパーの設置位置には制約がなく、任意の層に設置すれば充分であって各層に設置する必要はないし、従来の T M D のように構造物の頂部に設置する必要もなく、任意の特定層にのみ設置することで多層構造物全体に対して大きな振動低減効果が得られるものであり、したがって設置スペースを確保する上での制約は少なく、設置箇所数が少ないことからコストも安くて済む。

勿論、低減対象の振動数への同調は錘の質量や付加バネの値を調整することで自由にかつ幅広く行うことができ、構造物全体の固有 1 次モードのみならず固有 2 次モードやさら

10

20

30

40

50

に高次モードの振動、あるいは共振が問題となっている特定振動数を対象とする振動低減効果も得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0007】

本発明の振動低減機構の一実施形態を図1に示す。

本実施形態の振動低減機構の基本原理は、従来一般のTMDと同様に、構造物に対して付加バネを介して付加質量を設置し、それら付加バネと付加質量とにより定まる固有振動数を構造物の固有振動数に同調させて振動低減効果を得るというものであるが、本実施形態においては単なる付加質量に代えて錘の回転により生じる回転慣性質量を利用するものである。

10

すなわち、本実施形態の振動低減機構は、図1に示すように構造物（図示例は3階建ての建物）の任意の層に、層間変位が生じた際に作動して錘を回転させることにより所定の回転慣性質量 I_θ を生じる回転慣性質量ダンパー1を設置するとともに、その回転慣性質量ダンパー1に対して付加バネ2を直列に設置することを主眼とする。

なお、この振動低減機構には付加減衰3も必要であり、その付加減衰3は図示しているように付加バネ2に並列に設置するか、または回転慣性質量ダンパー1に対して並列に設置すれば良い。あるいは、回転慣性質量ダンパー1に付加減衰3を並列に組み込み一体化したものもあるので、それを用いる場合には他に格別の付加減衰を設置する必要はない。

【0008】

本実施形態の振動低減機構は、従来一般のTMDのように建物の頂部に設置しなければならないといった設置位置に関する制約はなく、任意の層に設置することで十分な効果が得られるものである。したがってたとえば図1に示すように3階建ての建物への設置パターンとしては、(a)~(c)に示すようにいずれか任意の1層にのみ設置すれば良く、あるいは任意の2層（図示例の場合にはたとえば1階と3階、あるいは2階と3階）に設置するか、もしくは全層に設置することでも勿論良い。但し、特定の1層にのみ設置する場合には、一般には上層部に設置するよりも下層部に設置する方が効果的であり、特に層間変形が大きい部位に設置するとより効果的である。

20

【0009】

本発明において使用する回転慣性質量ダンパー1は、層間変位が生じた際に作動して小質量の錘が回転するものであって、その錘の回転慣性モーメントと回転角加速度とにより錘に生じる慣性モーメントを慣性力として利用して振動低減効果を得るものである。すなわち、回転慣性質量ダンパー1に生じる加力（加振）方向の相対変位を x 、その際の錘の回転角を θ とし、それら x と θ との間に

30

$$x =$$

の関係があるとき、摩擦等による回転ロスを無視すると、この回転慣性質量ダンパー1の変位方向の慣性力（制御力） P は次式で表される。

【数1】

$$P = \frac{I_\theta \ddot{\theta}}{\alpha} = \frac{I_\theta}{\alpha^2} \ddot{x} = \psi_0 \ddot{x}$$

$$\psi_0 = I_\theta / \alpha^2$$

P : 慣性力（制御力）

I_θ : 錘の回転慣性モーメント

$\ddot{\theta}$: 回転角加速度

α : 単位回転角に対する加力（加振）方向の変位量

\ddot{x} : 加力（加振）方向の相対加速度

ψ_0 : 回転慣性質量

40

上式は、一般的なバネが相対変位にバネ定数を乗じて負担力とするのと同様に、相対加速度に回転慣性質量を乗じて負担力とすることを意味しており、相対変位ではなく相対加

50

速度を乗じる点で通常のパネによる場合と大きく異なるものである。

【 0 0 1 0 】

上記のような回転慣性質量ダンパー 1 が発生する回転慣性質量 J_0 の大きさは、回転する錘の実際の質量に対して 10 ~ 1000 倍にもなるので、小質量の錘を回転させることのみで極めて大きな慣性回転質量 J_0 を得ることができ、したがって錘が小質量であっても十分な制御力つまりは十分な振動低減効果が得られる。換言すれば、従来一般の大型大重量の TMD における付加質量のわずか 1 / 10 ~ 1 / 1000 程度の小質量の錘であっても従来と同等の振動低減効果が得られることになる。

勿論、回転慣性質量 J_0 の大きさは、錘の質量とその径寸法および径方向の質量分布により決定されるものであり、錘の質量が大きいほど、径寸法が大きいほど、質量が内周部よりも外周部に分布しているほど回転慣性質量 J_0 は大きくなるから、それらを適正に設定することによって回転慣性質量 J_0 を所望の大きさに設定することができ、所望の振動低減効果を得られる。

【 0 0 1 1 】

なお、この種の回転慣性質量ダンパーとしてはたとえば特許第 3250795 号公報や特開 2004 - 44748 号公報に免震装置として使用されるものが公知であり、本実施形態においてはそれらに示されているようなボールネジ式の回転慣性質量ダンパーが好適に採用可能であるが、回転慣性質量ダンパーの構成は特に限定されるものではなく、所望の形式、特性のものを任意に採用すれば良い。

【 0 0 1 2 】

そして、本実施形態においては、上記の回転慣性質量ダンパー 1 とそれに直列に設置される付加パネ 2 とにより定まる固有振動数を、構造物全体の所望の固有振動数に同調させるようにそれらの諸元を適正に設定することにより、その振動数での構造物の応答を大きく低減させることができるものである。

すなわち、一般に質量 m とパネ k による振動系における固有角振動数 ω は

$$\omega^2 = k / m$$

なる関係で定まるのと同様に、本実施形態のような回転慣性質量ダンパー 1 と付加パネ 2 とによる振動系においては、その固有角振動数 ω_0 は回転慣性質量 J_0 および付加パネ 2 のパネ定数 k_0 から

$$\omega_0^2 = k_0 / J_0$$

なる関係で定まる。したがって、その固有角振動数 ω_0 をたとえば構造物全体の固有 1 次角振動数 ω_1 に一致させれば、つまり

$$\omega_0^2 = k_0 / J_0 = \omega_1^2$$

の関係が成り立つように J_0 および k_0 の値を設定すれば、従来の TMD を設置した場合と同様に構造物全体の固有 1 次モードの振動に対する応答を大きく低減させることができ、特に風揺れに対する十分な低減効果が得られる。

【 0 0 1 3 】

あるいは、固有角振動数 ω_0 を構造物全体の固有 2 次角振動数 ω_2 と一致させることでも良く、その場合は

$$\omega_0^2 = k_0 / J_0 = \omega_2^2$$

となるように J_0 および k_0 の値を設定すれば、固有 2 次モードの振動に対する応答を大きく低減させることができる。

同様に、必要であればさらに高次の固有角振動数に同調させたり、機械振動のような特定の振動数を対象とする場合にはその振動数に同調させることにより、目的とする振動数との共振による応答増大を有効に防止することができる。

なお、付加減衰があることにより、上記の固有角振動数 ω_0 は厳密には構造物の固有振動数と一致しないが、ほぼ同じになるため、両者を一致させると表記している。

【 0 0 1 4 】

さらに、本実施形態の振動低減機構を複数の層に設置する場合には、それぞれの振動低減機構におけ固有角振動数 ω_0 を互いに異なるように設定しても良く、それにより複数の振

10

20

30

40

50

動数に対する低減効果を同時に得ることが可能である。たとえば、図 1 に示したように 3 階建ての建物を対象とする場合において、その 1 階と 2 階に振動低減機構をそれぞれ設置することとして、1 階に設置する振動低減機構の固有角振動数 ω_1 を構造物全体の固有 1 次角振動数 ω_1 に同調させ、2 階に設置する振動低減機構の固有角振動数 ω_2 を構造物全体の固有 2 次角振動数 ω_2 に同調させるような設定とすれば、建物全体の固有 1 次モードでの振動と固有 2 次モードでの振動に対する応答をいずれも低減させることができる。

【 0 0 1 5 】

勿論、本実施形態の振動低減機構は、図 1 に示しているように、地震や交通振動などのように地盤を通じて構造物に対して加振入力される場合のみならず、風荷重や機械振動により構造物に対して直接に加振入力される場合についても有効に振動低減効果が得られるものである。

10

【 0 0 1 6 】

なお、本実施形態においては、回転慣性質量ダンパー 1 の錘の実質量が小さいといえども、その負担力は従来の TMD における付加質量による慣性力と同等ないしそれ以上に大きなものとなるから、回転慣性質量ダンパー 1 やその設置のための接合部材等の設計においてはそのことを配慮して十分な強度を見込む必要がある。

そのため、必要であれば回転慣性質量ダンパー 1 に過大な力が作用して破損するようなことを防止するために、付加バネ 2 の負担力にリミッターをかけることも考えられる。そのためのリミッター機構としては、たとえば付加バネ 2 が許容限度を超える負担力を受けた際には降伏するようにしたり、あるいは付加バネ 2 にすべり機構を直列に配置しておくことが考えられる。また、回転慣性質量ダンパー 1 に作用する相対加速度が許容限度を超えた場合には錘が空回りして回転慣性質量 m_0 が過大にならないようにしても同様のリミッター効果が得られる。

20

また、以上で説明したように回転慣性質量ダンパー 1 を層間変位により作動させて水平振動を対象として振動低減効果を得ることに代え、回転慣性質量ダンパー 1 を上下方向の振動に対して作動するように設置すれば、同様の原理で上下振動に対する振動低減効果を得ることができる。

【 0 0 1 7 】

以下、本実施形態の振動低減機構の効果を確認するための解析手法とその結果を図 2 ~ 図 6 に示す。

30

【 0 0 1 8 】

(1) 基本モデル (図 2 参照)

図 1 に示した 3 階建ての建物は図 2 (a) に示すような 3 質点系の振動モデルとして考えることができる。そのモデルに対して、時刻 t における変位加振入力 $x(t)$ を

$$x(t) = x_0 \cdot e^{i \omega t}$$

として想定し、質点 j ($j = 1 \sim 3$) の加振方向変位を x_j 、加振点変位を x_0 とすると、質点 j の静止座標系 (絶対変位) の釣合式は、

【 数 2 】

$$m_1 \ddot{x}_1 + c_1 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_1 (x_1 - x_2) = 0$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + c_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_3) - c_1 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_2 (x_2 - x_3) - k_1 (x_1 - x_2) = 0$$

$$m_3 \ddot{x}_3 + c_3 (\dot{x}_3 - \dot{x}_0) - c_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + k_3 (x_3 - x_0) - k_2 (x_2 - x_3) = 0$$

40

で表される。

【 0 0 1 9 】

ここで、各層の質量 $m_1 \sim m_3$ 、バネ $k_1 \sim k_3$ 、減衰 $c_1 \sim c_3$ がそれぞれ同じであ

50

るとして、それぞれの変位 x_j が角振動数 ω_0 の正弦波振動、すなわち

$$x_j = x_{j0} e^{i \omega_0 t}$$

であり、また、各層の固有角振動数 ω_j が

$$\omega_j^2 = k_j / m_j \quad (= k_1 / m_1 = k_2 / m_2 = k_3 / m_3)$$

であり、

$$h_1 = c_1 / (2 m_1 \omega_0) \\ = c_1 / (2 m_1 \omega_0)$$

とすると、

【数 3】

$$\begin{bmatrix} 1 - \xi^2 + 2\xi h_1 i & -1 - 2\xi h_1 i & 0 \\ -1 - 2\xi h_1 i & 2 - \xi^2 + 4\xi h_1 i & -1 - 2\xi h_1 i \\ 0 & -1 - 2\xi h_1 i & 2 - \xi^2 + 4\xi h_1 i \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 + 2\xi h_1 i \end{pmatrix} x_0$$

となる。

上式から求まる $|x_j / x_0|$ (複素数の絶対値) が加振入力に対する各質点の応答倍率を示し、その応答倍率は変位、速度、加速度のいずれについても同じものとなる。

【0 0 2 0】

一方、反力比率 R / f は、加振入力に対する固定端反力 R (最下層のベースシャー) を加振力 f で除したもので、応答倍率を用いて次式で求められる。下式で求まる $|R / f|$ (複素数の絶対値) が加振入力に対する固定端反力の応答比率を示す。なお、加振力 f は総質量に入力加速度を乗じた値であって、ここでは

$$f = 3 m_1 \omega_0^2 x_0$$

である。

【数 4】

$$\frac{R}{f} = \frac{c_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_0) + k_3(x_3 - x_0)}{\sum_j m_j \omega_0^2 x_0} = \frac{1 + 2\xi h_1 i}{3\xi^2} \left(\frac{x_3}{x_0} - 1 \right)$$

【0 0 2 1】

以上で求まる応答倍率と反力比率を、減衰 $h_1 = 0.02$ である場合について、図 2 (b)、(c) に示す。

この図から、この系の固有 1 次角振動数 ω_1 は各層の固有角振動数 ω_0 に対して、 $\omega_1 = 0.445 \omega_0$ であり、同様に固有 2 次角振動数 ω_2 は $\omega_2 = 1.25 \omega_0$ であり、固有 3 次角振動数 ω_3 は $\omega_3 = 1.80 \omega_0$ であり、それぞれの振動数の近傍においてピークが生じるものとなる。

【0 0 2 2】

(2) 最下層に振動低減機構を設置した場合 (図 3 参照)

図 1 (a) に示したように最下層 (1 階) に振動低減機構を設置した場合、その振動モデルは図 3 (a) に示すものとなる。

このモデルにおいて、質点 j の加振方向変位を x_j 、回転慣性質量ダンパーと付加バネとの接合部の変位を x_c とし、各質点 j の静止座標系 (絶対変位) の釣合式で表示すると

【数5】

$$\begin{aligned}
 m_1 \ddot{x}_1 + c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_1(x_1 - x_2) &= 0 \\
 m_2 \ddot{x}_2 + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) - c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_2(x_2 - x_3) - k_1(x_1 - x_2) &= 0 \\
 m_3 \ddot{x}_3 + c_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_0) - c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + k_3(x_3 - x_0) - k_2(x_2 - x_3) + \psi_0(\ddot{x}_3 - \ddot{x}_c) &= 0 \\
 k_0(x_c - x_0) + c_0(\dot{x}_c - \dot{x}_0) = \psi_0(\ddot{x}_3 - \ddot{x}_c) &= P
 \end{aligned}$$

10

【0023】

基本モデルの場合と同様に、変位 x が角振動数 ω の正弦波振動、すなわち

$$x_j = x_j e^{i\omega t}$$

とすると

【数6】

$$P = \psi_0(\ddot{x}_3 - \ddot{x}_c) = \frac{x_3 - x_0}{\frac{1}{k_0 + i\omega c_0} + \frac{1}{-\omega^2 \psi_0}}$$

20

【0024】

また、同様に各層の質量 $m_1 \sim m_3$ 、バネ $k_1 \sim k_3$ 、減衰 $c_1 \sim c_3$ がいずれも同じであり

$$\omega_0^2 = k_1 / m_1$$

$$h_0 = c_0 / (2 \omega_0)$$

$$(\bar{k}_0) = k_0 / k_1$$

$$(\bar{c}_0) = c_0 / m_1$$

$$= \bar{c}_0 / \omega_0$$

とおく。なお、 (\bar{k}_0) は k_0 の上部に $(\bar{\quad})$ がつくことを表し、 (\bar{c}_0) は c_0 の上部に $(\bar{\quad})$ がつくことを表す。

【数7】

$$\begin{aligned}
 \frac{P}{k_1} &= \frac{\psi_0(\ddot{x}_3 - \ddot{x}_c)}{m_1 \omega_0^2} = \frac{x_3 - x_0}{\frac{m_1 \omega_0^2}{k_0 + i\omega c_0} + \frac{m_1 \omega_0^2}{-\omega^2 \psi_0}} = \frac{x_3 - x_0}{\frac{1}{\bar{k}_0 + 2\xi \bar{\psi}_0 h_0 i} - \frac{1}{\xi^2 \bar{\psi}_0}} \\
 &= -\frac{\xi^2 \bar{\psi}_0 (\bar{k}_0 + 2\xi \bar{\psi}_0 h_0 i)}{\bar{k}_0 - \xi^2 \bar{\psi}_0 + 2\xi \bar{\psi}_0 h_0 i} \cdot (x_3 - x_0)
 \end{aligned}$$

40

【0025】

上式を用いて振動方程式は次式となる。

【数 8】

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} 1-\xi^2+2\xi h_1 i & -1-2\xi h_1 i & 0 \\ -1-2\xi h_1 i & 2-\xi^2+4\xi h_1 i & -1-2\xi h_1 i \\ 0 & -1-2\xi h_1 i & 2-\xi^2+4\xi h_1 i - \frac{\xi^2 \bar{\psi}_0 (\bar{k}_0 + 2\xi \bar{\psi}_0 h_0 i)}{\bar{k}_0 - \xi^2 \bar{\psi}_0 + 2\xi \bar{\psi}_0 h_0 i} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \\ & = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 + 2\xi h_1 i - \frac{\xi^2 \bar{\psi}_0 (\bar{k}_0 + 2\xi \bar{\psi}_0 h_0 i)}{\bar{k}_0 - \xi^2 \bar{\psi}_0 + 2\xi \bar{\psi}_0 h_0 i} \end{pmatrix} x_0 \end{aligned} \quad 10$$

この式から求まる $|x_j / x_0|$ (複素数の絶対値) が、加振入力に対する各質点の応答倍率を示す ($j = 1 \sim 3$)。

【0026】

20

一方、反力比率は次式で求められる。

【数 9】

$$\begin{aligned} \frac{R}{f} &= \frac{c_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_0) + k_3(x_3 - x_0) + \psi_0(\ddot{x}_3 - \ddot{x}_c)}{\sum_j m_j \omega^2 x_0} \\ &= \frac{1 - \frac{\xi^2 \bar{\psi}_0 (\bar{k}_0 + 2\xi \bar{\psi}_0 h_0 i)}{\bar{k}_0 - \xi^2 \bar{\psi}_0 + 2\xi \bar{\psi}_0 h_0 i} + 2\xi h_1 i}{3\xi^2} \begin{pmatrix} x_3 \\ x_0 \end{pmatrix} - 1 \end{aligned} \quad 30$$

この式から求まる $|R / f|$ (複素数の絶対値) が加振入力に対する固定端の反力比率を示す。

【0027】

回転慣性質量ダンパーと付加バネとにより定まる固有角振動数 ω_0 を構造物全体の固有 1 次角振動数 ω_1 に同調させた場合、つまり、

40

$$\omega_0^2 = k_0 / I_0 = \omega_1^2$$

となるように回転慣性質量ダンパーおよび付加バネの諸元を設定した場合、具体的には、

$$I_0 = 0.445 I_1$$

$$k_0 = k_1 / m_1$$

の関係から、

$$\omega_0^2 = \omega_1^2 \quad 0.2 I_0 \omega_0^2 = 0.2 k_1 / m_1$$

となるように設定し、かつ

$$\text{回転慣性質量比} \quad (I_0) = I_0 / m_1 = 0.2$$

$$\text{付加バネのバネ比} \quad (k_0) = k_0 / k_1 = 0.04$$

$$\text{付加減衰定数} \quad h_0 = c_0 / (2 I_0 \omega_0) = 0.03$$

50

とした場合における頂部質点（および底部質点）の応答倍率を図3（b）に示し、固定端の反力比率を（c）に示す。

これらの図から、回転慣性質量ダンパーと付加バネからなる振動低減機構を最下層にのみ設置しただけでも、その固有角振動数を構造物全体の固有1次角振動数 ω_1 に同調させることにより、1次モードの振動に対する頂部の最大応答変位を約75%も低減させることができ、かつ固定端反力を大幅に低減できることがわかる。

【0028】

また、固有角振動数を固有2次角振動数 ω_2 に同調させた場合、つまり、

$$\omega_2^2 = k_0 / m_0 = \omega_1^2$$

となるように回転慣性質量ダンパーおよび付加バネの諸元を設定し、かつ付加バネを大きくして、

付加バネのバネ比（ k_0 ） $= k_0 / k_1 = 0.4$

付加減衰定数 $h_0 = c_0 / (2 m_0 \omega_0) = 0.1$

とした場合における応答倍率を（d）に示し、固定端への反力比率を（e）に示す。

この場合は、1次モードの振動に対する効果はなく、目的とする2次モードの振動に対する応答倍率と反力比率とを効果的に低減できることがわかる。

【0029】

（3）中間層に振動低減機構を設置した場合（図4参照）

上記と同様の振動低減機構を中間層（2階）に設置し、1次モードに同調させた場合の結果を図4に示す。この場合は、最下層に設置する場合に比べ応答倍率やダンパー反力がやや増加するものの、最大応答を約68%も低減させることができ、中間層に設置することも十分に有効であることがわかる。

【0030】

（4）最上層に振動低減機構を設置した場合（図5参照）

上記と同様の振動低減機構を最上層（3階）に設置し、1次モードに同調させた場合の結果を図5に示す。この場合は、最下層や中間層に設置する場合に比べ応答倍率やダンパー反力の低減効果がやや低下するものの、最大応答を約50%も低減させることができるので十分に有効である。

【0031】

（5）頂部加振入力される場合（図6参照）

振動低減機構を最下階に設置して1次モードに同調させた場合において、図6（a）に示すように、風荷重や機械振動などが建物の頂部に作用する場合、その加振入力を

$$f(t) = f_0 \cdot e^{i \omega t}$$

として想定すると、質点の釣合式は

【数10】

$$m_1 \ddot{x}_1 + c_1 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_1 (x_1 - x_2) = f(t)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + c_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_3) - c_1 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + k_2 (x_2 - x_3) - k_1 (x_1 - x_2) = 0$$

$$m_3 \ddot{x}_3 + c_3 \dot{x}_3 - c_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + k_3 x_3 - k_2 (x_2 - x_3) + \psi_0 (\ddot{x}_3 - \ddot{x}_c) = 0$$

$$k_0 x_c + c_0 \dot{x}_c = \psi_0 (\ddot{x}_3 - \ddot{x}_c) = P$$

となる。

【0032】

また、基本モデルと同様に各層の質量、バネ、減衰が同じとすると、振動方程式は

10

20

30

40

【数 1 1】

$$\begin{bmatrix} 1-\xi^2+2\xi h_i & -1-2\xi h_i & 0 \\ -1-2\xi h_i & 2-\xi^2+4\xi h_i & -1-2\xi h_i \\ 0 & -1-2\xi h_i & 2-\xi^2+4\xi h_i - \frac{\xi^2 \bar{\psi}_0 (\bar{k}_0 + 2\xi \bar{\psi}_0 h_{0i})}{\bar{k}_0 - \xi^2 \bar{\psi}_0 + 2\xi \bar{\psi}_0 h_{0i}} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \frac{f_0}{k_1}$$

10

となる。

各質点の応答倍率は下式（複素数）の絶対値として求められる。

【数 1 2】

$$\frac{x_j}{\sum (f_0/k_i)} = \frac{x_j k_1}{3f_0} \quad (j = 1 \sim 3)$$

20

【0 0 3 3】

この式から求まる応答倍率と反力比率を図 6 (b), (c) に示す。この場合も最大応答を約 7 2 % も低減させることができ、地震等のように固定端から建物に加振入力される場合と同様に、風荷重や機械振動などにより建物の頂部に加振力が作用する場合においても同様に有効であることがわかる。

30

【図面の簡単な説明】

【0 0 3 4】

【図 1】本発明の実施形態である振動低減機構を 3 階建ての建物に設置する場合の概念図である。

【図 2】同、解析モデルと解析結果を示す図である。

【図 3】同、解析モデルと解析結果を示す図である。

【図 4】同、解析モデルと解析結果を示す図である。

【図 5】同、解析モデルと解析結果を示す図である。

【図 6】同、解析モデルと解析結果を示す図である。

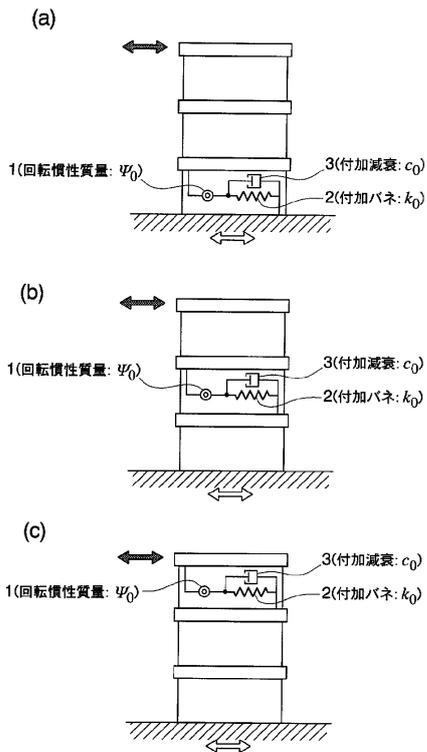
【符号の説明】

40

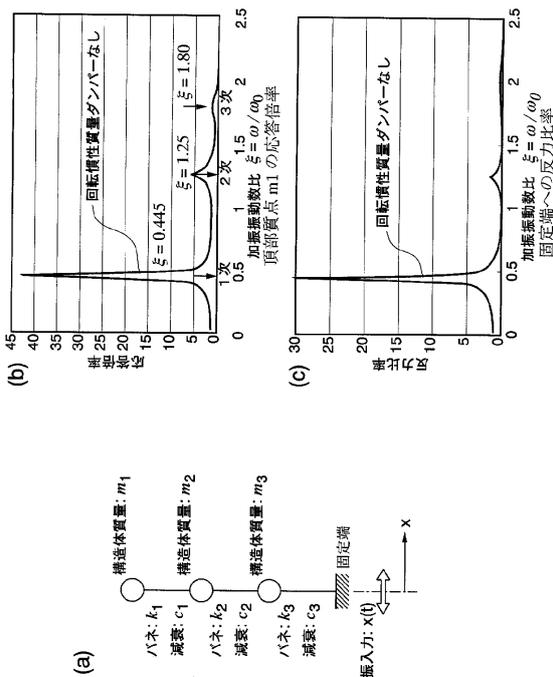
【0 0 3 5】

- 1 回転慣性質量ダンパー
- 2 付加バネ
- 3 付加減衰

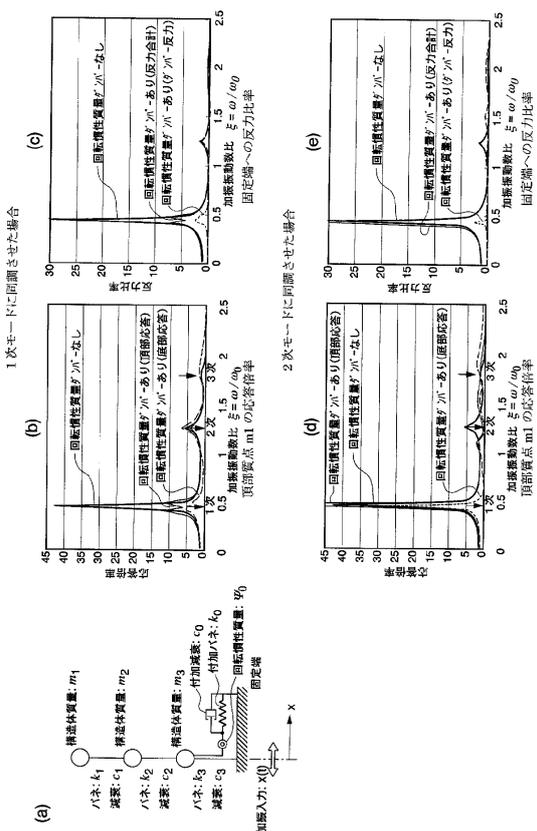
【図1】



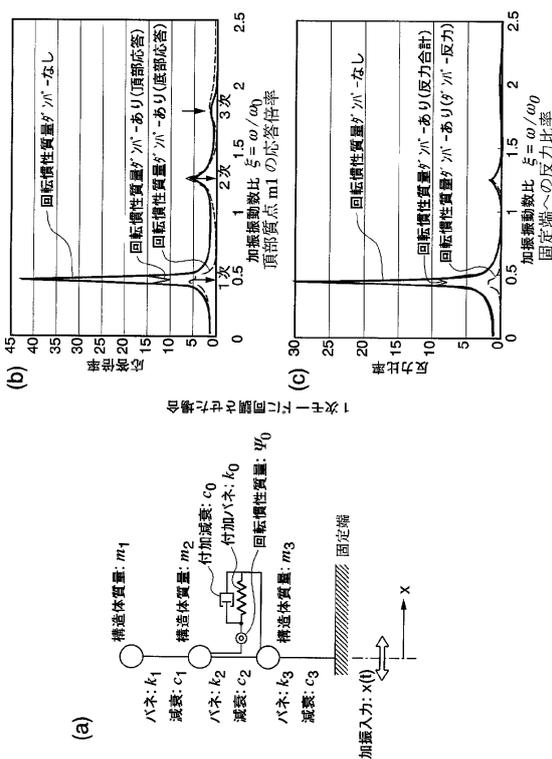
【図2】



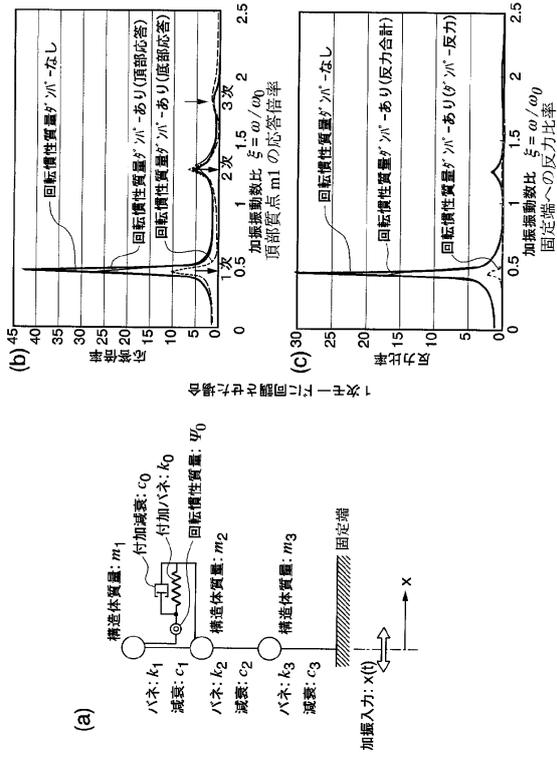
【図3】



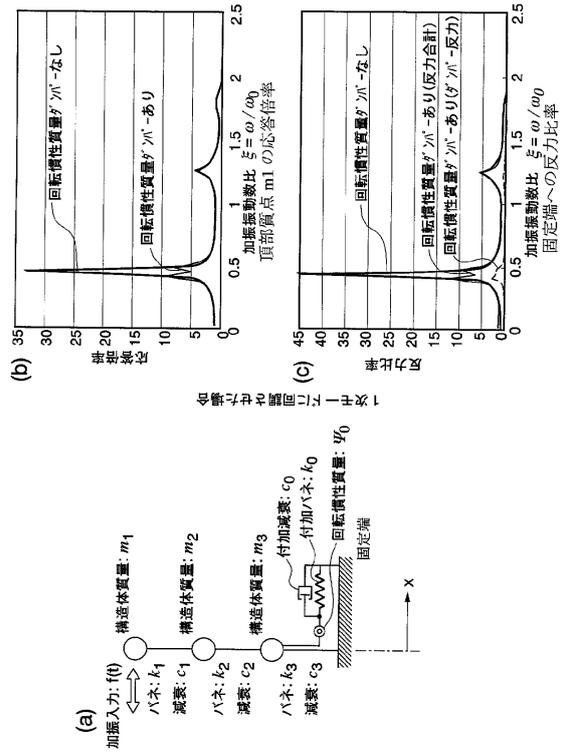
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(56)参考文献 特許第3250795(JP, B2)
特開平04-237778(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F16F 15/02
E04H 9/02