

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6440244号
(P6440244)

(45) 発行日 平成30年12月19日(2018.12.19)

(24) 登録日 平成30年11月30日(2018.11.30)

(51) Int. Cl. F 1
E O 1 D 1/00 (2006.01) E O 1 D 1/00 Z

請求項の数 1 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2014-146975 (P2014-146975)	(73) 特許権者	505389695 首都高速道路株式会社 東京都千代田区霞が関1-4-1
(22) 出願日	平成26年7月17日(2014.7.17)	(73) 特許権者	000002299 清水建設株式会社 東京都中央区京橋二丁目16番1号
(65) 公開番号	特開2016-23444 (P2016-23444A)	(74) 代理人	100064908 弁理士 志賀 正武
(43) 公開日	平成28年2月8日(2016.2.8)	(74) 代理人	100108578 弁理士 高橋 詔男
審査請求日	平成29年6月6日(2017.6.6)	(74) 代理人	100146835 弁理士 佐伯 義文
		(74) 代理人	100161506 弁理士 川渕 健一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 橋梁の制振構造の設定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一端側を上部構造に接続し、他端側を下部構造に接続して、支承と並列配置されるように制振ダンパーを設置して構成されるとともに、

前記制振ダンパーとして粘性減衰系ダンパーと慣性質量ダンパーが併用された橋梁の制振構造の最適な諸元を設定する方法であって、

前記慣性質量ダンパーの慣性質量 m_d と減衰係数 c_d を下記の式(1)と式(2)で設定し、

且つ、予め橋脚頂部の質量(橋脚が複数の場合はその総合計)を m_1 / 橋桁質量(多径間の場合は一体化された橋桁の総重量) m_2 をパラメータとして m_d / m_2 と橋脚部の総水平剛性 k_1 / 支承の総水平剛性 k_2 の関係、 h_d と k_1 / k_2 の関係を求めておき、橋梁の m_1 / m_2 および k_1 / k_2 から最適な m_d と h_d を設定し最適な c_d を得ることを特徴とする橋梁の制振構造の設定方法。

【数 1】

$$\psi_d = \frac{2(m_1 + m_2)^2 k_2 - m_1 m_2 k_1 + m_2^2 k_1}{2(m_1 + m_2) k_1} \quad (1)$$

【数 2】

$$c_d = 2h_d \sqrt{m_2 k_2} \quad (2)$$

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、橋梁の制振構造の設定方法に関する。

【背景技術】

10

【0002】

近年、橋梁技術の進歩に伴い、振動、騒音の減少、走行性の向上に有効な多径間連続桁橋が数多く設計、施工されている。また、橋梁規模の大型化に伴って、上部構造（桁、床版などの上部工）の地震時慣性力を下部構造（橋脚、橋台などの下部工）に分配する構造が多く採用されている。例えば、下部構造と上部構造の間の支承部にゴム支承を用い、このゴム支承の水平剛性（せん断剛性）を調整することにより、下部構造に作用する地震時慣性力を任意に調整、配分できるようにした構造が多く採用されている。

【0003】

一方、ゴム支承は、従来のピン支承よりはるかに水平剛性が小さく変形能力が大きいが、LRB（鉛プラグ入り積層ゴム）や高減衰ゴム支承のような免震装置と比較すると減衰が数分の1程度しかなく変形能力も小さい。このため、設計時に想定された地震時慣性力を上回る過大な地震力が作用すると、支承部や下部構造に損傷が生じるおそれがある。特に、阪神大震災や東日本大震災を受け、設計用地震動が見直されて入力地震力が増大しており、これに伴い、長周期地震動への対応など既存インフラの耐震性向上技術の開発が急務とされている。

20

【0004】

そして、従来建物などに適用されてきた免震技術や制振技術を橋梁の耐震性能を向上させる技術手法として採用することが提案、検討されている（例えば、特許文献1、特許文献2、特許文献3、特許文献4、特許文献5参照）。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2009-228296号公報

【特許文献2】特開2006-9503号公報

【特許文献3】特開平7-317822号公報

【特許文献4】特許第3046192号公報

【特許文献5】特開2004-332478号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

40

まず、免震構造は、固有周期を長周期化することで免震対象の構造物の応答が小さくなる場合に有効である。これに対し、橋梁の免震化においては、橋梁の変形を抑えることが必要であり、建築用と比較してせん断剛性Gが3～4倍程度の大きな積層ゴム支承を使用することになる。このため、固有周期が2秒程度となり、効果的に長周期化を図ることができず、特に地盤条件が悪い場合や長周期地震動の対応が求められる場合には、十分な免震効果が発揮されにくく、その適用が困難になる。さらに、既存橋梁を免震化する場合には、高コスト、施工時に橋梁を利用できなくなるなどの課題もある。

【0007】

一方、制振構造は、橋梁の下部構造と上部構造の間に制振ダンパーを追加設置し、減衰性能を付与することにより、比較的容易に且つ低コストで応答を低減することができる。

50

橋梁の耐震性能を向上させることができる。

しかしながら、地震時に下部構造が変形することによって制振ダンパーの効きが悪くなる問題があり、逆に、ダンパー性能を増大して支承部の変形を抑制すると下部構造のせん断力や上部構造の加速度が大幅に増加してしまうという不都合が生じる。

【0008】

本発明は、上記事情に鑑み、制振によって确实且つ効果的に橋梁の耐震性能を向上させることを可能にする橋梁の制振構造の設定方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記の目的を達するために、この発明は以下の手段を提供している。

10

【0010】

本発明の橋梁の制振構造の設定方法は、一端側を上部構造に接続し、他端側を下部構造に接続して、支承と並列配置されるように制振ダンパーを設置して構成されるとともに、前記制振ダンパーとして粘性減衰系ダンパーと慣性質量ダンパーが併用された橋梁の制振構造の最適な諸元を設定する方法であって、前記慣性質量ダンパーの慣性質量 m_d と減衰係数 c_d を下記の式(1)と式(2)で設定し、且つ、予め橋脚頂部の質量(橋脚が複数の場合はその総合計)を m_1 / 橋桁質量(多径間の場合は一体化された橋桁の総重量) m_2 をパラメータとして m_d / m_2 と橋脚部の総水平剛性 k_1 / 支承の総水平剛性 k_2 の関係、 h_d と k_1 / k_2 の関係を求めておき、橋梁の m_1 / m_2 および k_1 / k_2 から最適な m_d と h_d を設定し最適な c_d を得ることを特徴とする。

20

【0012】

【数1】

$$\psi_d = \frac{2(m_1 + m_2)^2 k_2 - m_1 m_2 k_1 + m_2^2 k_1}{2(m_1 + m_2) k_1} \quad (1)$$

【0013】

【数2】

$$c_d = 2h_d \sqrt{m_2 k_2} \quad (2)$$

【発明の効果】

【0014】

本発明の橋梁の制振構造の設定方法においては、支承部と並列に制振装置を設置するだけで支承部の水平変位を抑制できるとともに、下部工(橋脚部)に作用する力(せん断力、モーメント)をも低減でき、基礎に作用する地震力も低減できる。

【0015】

これにより、既存橋脚部や杭の耐力が小さく、制振しない場合に大きな損傷を生じていた部位における応答が制振により大幅に低減され、損傷を防止または軽減することができる。特に、杭のように改修工事でも補強することが困難な部材の耐力を増大させることなく耐震性能を向上させることができる。すなわち、耐震余裕度を向上することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本発明の一実施形態に係る橋梁の制振構造(a)及びこの振動解析モデル(b)を示す図である。

【図2】本発明の一実施形態に係る橋梁の制振構造の慣性質量ダンパーの一例を示す断面図である。

【図3】本発明の一実施形態に係る橋梁の制振構造を設けた橋梁の耐震性能を確認するシミュレーションを行う際に用いた振動解析モデルを示す橋梁の側面図(a)、床伏図(b)、(b)のX1-X1線矢視図(c)である。

50

【図 4】本発明の一実施形態に係る橋梁の制振構造の設定方法で用いる d/m_2 と k_1/k_2 の関係の一例を示す図である。

【図 5】本発明の一実施形態に係る橋梁の制振構造の設定方法で用いる h_d と k_1/k_2 の関係の一例を示す図である。

【図 6】本発明の一実施形態に係る橋梁の制振構造を設けた橋梁の耐震性能を確認するために行ったシミュレーションの結果であり、加振振動数比と加速度応答倍率の関係を示す図である。

【図 7】本発明の一実施形態に係る橋梁の制振構造を設けた橋梁の耐震性能を確認するために行ったシミュレーションの結果であり、加振振動数比と反力応答倍率の関係を示す図である。

【図 8】本発明の一実施形態に係る橋梁の制振構造を設けた橋梁の耐震性能を確認するために行ったシミュレーションの結果であり、加振振動数比と変位応答倍率の関係を示す図である。

【図 9】本発明の一実施形態に係る橋梁の制振構造を設けた橋梁の耐震性能を確認するために行ったシミュレーションの結果であり、加振振動数比と変位応答倍率（制振構造を備えたケースのみ）の関係を示す図である。

【図 10】本発明の一実施形態に係る橋梁の制振構造を設けた橋梁の耐震性能を確認するシミュレーションで用いた入力地震動の波形を示す図である。

【図 11】本発明の一実施形態に係る橋梁の制振構造を設けた橋梁の耐震性能を確認するために行ったシミュレーションの結果であり、橋桁部の時刻歴加速度応答波形を示す図である。

【図 12】本発明の一実施形態に係る橋梁の制振構造を設けた橋梁の耐震性能を確認するために行ったシミュレーションの結果であり、支承部の時刻歴変位応答波形を示す図である。

【図 13】本発明の一実施形態に係る橋梁の制振構造を設けた橋梁の耐震性能を確認するために行ったシミュレーションの結果であり、橋脚部の時刻歴せん断力応答波形を示す図である。

【図 14】本発明の一実施形態に係る橋梁の制振構造を設けた橋梁の耐震性能を確認するために行ったシミュレーションの結果であり、橋脚頂部の時刻歴加速度応答波形を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、図 1 から図 14 を参照し、本発明の一実施形態に係る橋梁の制振構造及び橋梁の制振構造の設定方法について説明する。

【0018】

本実施形態の橋梁の制振構造 A は、図 1 に示すように、例えば多径間連続桁形式の高架橋などの橋梁の制振構造であり、橋梁 1 の下部構造 3 と上部構造 2 の間に制振ダンパー（制振機構）B 1、B 2 を設置して構成されている。

【0019】

さらに、この橋梁の制振構造 A は、制振ダンパー B 1、B 2 を支承 4 に並列に配して構成されている。また、本実施形態では、橋桁（上部構造 2）の連続部下の橋脚部（下部構造 3）を対象とするため、橋脚部を挟んで橋軸 O 1 方向の一方の側の制振ダンパーとしてオイルダンパー等の粘性減衰系ダンパー B 1 が設けられ、他方の側の制振ダンパーとして慣性質量ダンパー B 2 が適用されている。

なお、本実施形態のような場合に橋脚部を挟んで一方の側と他方の側の両制振ダンパー B 1、B 2 をオイルダンパー等の粘性減衰系ダンパーとしてもよい。

【0020】

ここで、本実施形態の他方の側に設けられる制振ダンパーである慣性質量ダンパー B 2 の一例を図 2 に示す。

【0021】

10

20

30

40

50

この慣性質量ダンパー B 2 は、中心軸線 O 2 を慣性質量ダンパー B 2 の軸線 O 2 と同軸上に配して設けられたボールねじ 1 0 と、ボールねじ 1 0 に螺着して配設されたボールナット 1 1 と、ボールナット 1 1 に取り付けられ、ボールナット 1 1 の回転に従動して回転する回転錘 1 2 とを備えて構成されている。

【 0 0 2 2 】

ボールねじ 1 0 は、その一端 1 0 a に、橋梁 1 の上部構造 2 又は下部構造 3 に接続するためのボールジョイントやクレビスなどの連結部材 1 3 が取り付けられている。

【 0 0 2 3 】

また、ボールねじ 1 0 に螺着したボールナット 1 1 は、軸受け 1 4 に支持されている。軸受け 1 4 は、軸線 O 2 周りに回転不能に且つ軸線 O 2 方向に移動不能に固設される円環状の外輪 1 4 a と、外輪 1 4 a の内孔内に配されて軸線 O 2 周りに回転可能に支持された円環状の内輪 1 4 b とを備えて形成されている。そして、ボールねじ 1 0 が軸受け 1 4 の内輪 1 4 b の中心孔に挿通して配設されるとともに、ボールナット 1 1 が軸受け 1 4 の内輪 1 4 b に固設されている。これにより、ボールナット 1 1 は、軸線 O 2 周りに回転可能に、且つ軸線 O 2 方向に移動不能に配設されている。

【 0 0 2 4 】

さらに、ボールナット 1 1 に回転錘 1 2 が一体に固定して設けられている。回転錘 1 2 は例えば略円筒状に形成され、ボールねじ 1 0 を内部に挿通し、ボールねじ 1 0 と互いの軸線 O 2 を同軸上に配した状態でボールナット 1 1 に固着して配設されている。

【 0 0 2 5 】

また、慣性質量ダンパー B 2 の他端側、すなわちボールねじ 1 0 の他端 1 0 b 側には、円筒状に形成された筒体 1 5 が設けられている。

この筒体 1 5 は、所定長さの高軸剛性かつ高曲げ剛性の中空円筒体であって、その他端（図中左側の端部）1 5 a に内部を閉塞させるように円板状の接続板 1 7 が固着され、この接続板 1 7 に、慣性質量ダンパー B 2 の他端を、橋梁 1 の下部構造 3 又は上部構造 2 に接続するためのボールジョイントやクレビスなどの連結部材 1 8 が取り付けられている。また、筒体 1 5 は、その一端側（図中右側の端部）1 5 b が軸受け 1 4 に固着され、ボールねじ 1 0 の他端 1 0 b 側が内部に挿入されている。

【 0 0 2 6 】

そして、上記構成からなる慣性質量ダンパー B 2 においては、地震などが発生し、橋梁 1 に振動エネルギーが作用して下部構造 3 と上部構造 2 に相対的な変位が生じると（入力されると）、この変位差に応じてボールねじ 1 0 が軸線 O 2 方向に進退し、軸受け 1 4 の内輪 1 4 b に支持されたボールナット 1 1 が回転するとともに回転錘 1 2 が回転する。なお、このとき、ボールねじ 1 0 は、軸線 O 2 方向に進退するとともに筒体 1 5 の内孔に挿入・出する。

これにより、回転錘 1 2 の実際の質量の数千倍もの慣性質量効果が得られ、オイルダンパーなどの従来の制振装置を設置した場合と比較し、応答変位が大幅に低減することになる。

【 0 0 2 7 】

なお、慣性質量ダンパー B 2 は、両端に作用する相対変位で錘 1 2 を回転させ、錘質量の数千倍もの大きな慣性質量効果を得るものであるため、作用する相対加速度に比例した反力が得られる。このため、橋梁 1 の上部構造 2 の温度による伸縮（低速）にはほとんど反力を生じさせずに追従することになる。

【 0 0 2 8 】

そして、本実施形態の制振構造 A は、このような慣性質量ダンパー B 2 とオイルダンパー B 1 が、図 1 (a) 及び図 3 に示すように橋脚部を挟んで一方の側と他方の側にそれぞれ設けられ、橋梁 1 の下部構造（橋脚頂部など）3 と上部構造（橋桁など）2 とに接続し、支承 4 に対して並列配置した形で設置される。この橋梁の制振構造 A は、慣性質量ダンパー B 2 の慣性質量 m_d 、オイルダンパー B 1 の粘性減衰や慣性質量ダンパー B 2 の内部減衰を合計して減衰係数 c_d とし、図 1 (b) のようにモデル化することができる。また

、本実施形態の制振構造 A では、各諸元を橋梁 1 の 1 次固有振動数近傍における周波数伝達関数の応答倍率のピーク値が最小となるように設定する。

【 0 0 2 9 】

ここで、本実施形態の橋梁の制振構造 A の設定方法においては、橋桁質量（多径間の場合は一体化された橋桁の総重量）を m_2 、橋脚頂部の質量（橋脚が複数の場合はその総合計）を m_1 、支承 4 の総水平剛性を k_2 、橋脚部の総水平剛性を k_1 とし、慣性質量ダンパー B 2 の慣性質量 m_d と減衰係数 c_d を次の式（3）、式（4）で設定する。

なお、下部構造 3 となる橋脚部の構造減衰を 1 次固有振動数に対して 5 % とし、支承部 4 の減衰については無視する。

【 0 0 3 0 】

【数 3】

$$\psi_d = \frac{2(m_1 + m_2)^2 k_2 - m_1 m_2 k_1 + m_2^2 k_1}{2(m_1 + m_2) k_1} \quad (3)$$

【数 4】

$$c_d = 2h_d \sqrt{m_2 k_2} \quad (4)$$

【 0 0 3 1 】

また、本実施形態における橋梁の制振構造 A の設定方法では、予め、図 4、図 5 に示すように、 m_1 / m_2 をパラメータとして m_d / m_2 と k_1 / k_2 の関係、 h_d と k_1 / k_2 の関係を求めておき、この図 4、図 5 を用いて諸元を設定する。

すなわち、橋梁の構造諸元として m_1 / m_2 、 k_1 / k_2 を設定し、式（3）または図 4 から m_d 、図 5 から h_d を求め、式（4）から c_d を求めることで最適な諸元を得る。

【 0 0 3 2 】

これらオイルダンパー等の粘性減衰系ダンパー B 1 と慣性質量ダンパー B 2 は支承 4 の剛性 k_2 と並列に配置する。また、これらの値は一体化した橋桁部分にとりつく諸元の合計値である。

そして、ダンパー諸元は小さすぎると応答低減効果がなく、大きすぎると支承剛性を高めた（ピン支承にした）のと同様で変形は抑制できるが応答低減効果は得られなくなる。これを考慮し、本実施形態では上記のような最適諸元を設定している。

【 0 0 3 3 】

なお、オイルダンパー等の粘性減衰系ダンパー B 1 のみで制振機構 B 1、B 2 を構成してもよい。この粘性減衰系ダンパー B 1、B 2 としては、オイルダンパーやピンガムダンパー、その他の粘性系ダンパーが挙げられ、慣性質量ダンパー B 2 を用いない場合でもダンパーなしの場合に比べれば支承部 4 の変位量を低減し、耐震性を向上させることができる。

【 0 0 3 4 】

但し、この場合には、設置する制振ダンパー B 1、B 2 が過大だと支承部 4 の変位は低減できるが下部構造（橋脚部）3 の応答が増大する。このため、付加する制振ダンパー B 2 の減衰係数 c' には次の式（5）で示す制約条件をつけるものとする。

式中の不等号を等号にすると、慣性質量を用いないで粘性減衰のみを用いた場合の最適減衰となる。

【 0 0 3 5 】

【数 5】

$$c' \leq \sqrt{\frac{m_2 (k_1 + k_2) (k_1 + 2k_2)}{2k_1}} \quad (5)$$

10

20

30

40

なお、想定外の入力地震動に対するフェールセーフ機構として、オイルダンパーはピストンにリリース弁を設けシリンダー内の過大な圧力上昇を抑制する過負荷防止機構を内蔵させることもできる。

【0036】

次に、本実施形態の橋梁の制振構造 A を設けた場合の橋梁 1 の耐震性能をシミュレーションした結果（試設計）について説明する。

【0037】

本シミュレーションでは、制振機構を設けない非制振の Case 1 と、慣性質量ダンパーとオイルダンパーを並列配置して制振機構を設けた本実施形態の Case 2（本実施形態の橋梁の制振構造 A）の 2 ケースについてシミュレーションを行い、互いのシミュレーション結果を比較した。 10

【0038】

また、制振対象として 3 径間の橋梁 1 をモデル化した。この橋梁 1 の諸元は、橋桁部質量 $m_2 = 1578 \text{ ton}$ 、橋梁部質量 $m_1 = 319 \text{ ton}$ 、支承部剛性 $k_2 = 73.5 \text{ kN/mm}$ 、下部工剛性（下部構造の剛性） $k_1 = 477 \text{ kN/mm}$ とした。これにより、 $m_1/m_2 = 0.2$ 、 $k_1/k_2 = 6.5$ となる。

また、慣性質量ダンパー B 2 の慣性質量は式 (3) から $m_d = 816 \text{ ton}$ となる。

【0039】

そして、上記のように各諸元、ひいては $m_d/m_2 = 0.517$ 、 $k_1/k_2 = 6.5$ を決めると、図 4 と図 5 から $h_d = 0.9$ を得ることができる。これにより、式 (4) から $c_d = 19.4 \text{ kN} \cdot \text{sec/mm} = 194 \text{ kN/kine}$ を得ることができる。 20

【0040】

次に、周波数伝達関数を用い、制振ダンパー B 1、B 2 の有無（Case 1、Case 2）による振動特性の違いを周波数領域で検討した結果について説明する。

【0041】

図 6 は、地表面加速度 x_0 （上に「 $\cdot \cdot$ 」）に対する加振角振動数（ x_2 （上に「 $\cdot \cdot$ 」）、 x_1 （上に「 $\cdot \cdot$ 」））の比率を応答倍率して示した結果である。

なお、加振振動数比 $\omega = \omega_0$ （ k_2/m_2 ）に対する加振角振動数 $\omega = 2\pi f$ （ f は加振振動数）の比率である。

【0042】

この図 6、図 7 から、制振（Case 2）を行うことにより共振時の応答倍率が大幅に低減することが確認された。また、 $m_2 \gg m_1$ であることから、下部構造 3 の反力が概ね橋桁部の加速度に比例することになり、且つ下部構造 3 の反力も同様に低減することが確認された。 30

【0043】

本実施形態の制振構造 A の場合（Case 2）について、当該部より上部にある全質量に加速度を乗じた値に対する当該部の反力の比率を応答倍率とする。制振機構の反力応答倍率は（制振機構の反力）/ $m_2 x_0$ （上に「 $\cdot \cdot$ 」）、下部構造の反力応答倍率は（下部工の反力）/ $(m_1 + m_2) x_0$ （上に「 $\cdot \cdot$ 」）で表される。

【0044】

そして、図 7 に示すように、「支承 4 + 制振機構 B 1、B 2」及び下部構造 3 の応答倍率は、概ね加速度応答倍率と同様になることが確認された。また、制振機構 B 1、B 2 の応答倍率からこの制振機構 B 1、B 2 はもはや共振しない振動特性をもつ。 40

【0045】

図 8 は、地表面変位 x_0 に対する各部変位（相対変位 $x_2 - x_1$ 、 $x_1 - x_0$ ）の比率を応答倍率として示した結果である。また、図 9 は、本実施形態の制振構造 A を備えた場合についてのみ縦軸を拡大して示している。

【0046】

これら図 8、図 9 から、本実施形態の制振機構 B 1、B 2 により共振域での応答倍率が大幅に低下し、支承部 4 の変位が抑制されることが確認された。 50

一方で、応答を大幅に抑制してできるのは1次のみであり、高次については大きくなる場合もあるので、高次モードが卓越するような構造に適用する際には留意する必要があることも確認された。

【0047】

次に、時刻歴解析を用い、制振機構B1、B2の有無(Case1、Case2)による応答の違いを検討した結果について説明する。

【0048】

ここでは、公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書に示されたレベル2地震動で2種地盤に対応するII-II-3地震波(最大加速度736gal)を入力し、時刻歴波形で応答結果を比較した。

10

なお、この入力地震動の波形は図10に示す通りである。

【0049】

図11は橋桁部の加速度、図12は支承部の変位、図13は橋脚部のせん断力、図14は橋脚頂部の加速度を示している。

【0050】

図11から、本実施形態の制振機構Bにより最大応答加速度が半減するとともに、揺れの継続時間も大幅に低減することが確認された。

【0051】

図12から、支承部4の変位は制振により2割に低減し、一般的な支承4の可動代200mmに収まることが確認された。これにより、支承部4の変位が過大になりストッパーに衝突する危険性を大幅に低減できる。

20

【0052】

また、制振時のダンパー最大反力(各12台の合計)は、慣性質量ダンパーB2が5000kN、オイルダンパーB1が9960kNで、両者の合力は位相差があるため10520kNとなり、単純和よりかなり低減することが確認された。

【0053】

図13から、下部構造(下部工：橋脚部)3に作用するせん断力も制振により半減し、応力振幅も速やかに減衰することが確認された。これにより、大きな応力を生じる回数が減るので、疲労破壊も生じにくくなることが実証された。

【0054】

図14から、橋脚頂部(支承部下部)の加速度は制振によりやや低減されるもののその低減効果は顕著ではないことが確認された。これにより、本実施形態の橋脚の制振構造Aは、橋脚頂部の加速度の応答低減を図るものではないことが確認された。

30

言い換えれば、橋脚頂部側の加速度が大きいほど、制振構造A、特に慣性質量ダンパーB2が効きやすくなるため、効果的に制振構造Aの性能が発揮されると言える。

【0055】

したがって、本実施形態の橋梁の制振構造A及び橋梁の制振構造の設定方法においては、支承部4と並列に制振ダンパーB1、B2を設置するだけで支承部4の水平変位を抑制できるとともに、下部構造(橋脚部)3に作用する力(せん断力、モーメント)をも低減でき、基礎に作用する地震力も低減できる。

40

【0056】

これにより、既存橋脚部や杭の耐力が小さく、制振しない場合に大きな損傷を生じていた部位における応答が制振により大幅に低減され、損傷を防止または軽減することができる。特に、杭のように改修工事でも補強することが困難な部材の耐力を増大させることなく、耐震性能を向上させることができる。すなわち、耐震余裕度を向上することができる。

【0057】

また、支承部4を交換する必要がなく、単に制振機構(制振ダンパー)B1、B2を付加するだけなので、橋梁を工事中も継続使用できる。

【0058】

50

さらに、支承部 4 と並列に大きな振動諸元をもつ制振ダンパー B 1、B 2 を追加することにより、支承部 4 の水平変位を大幅に抑制できる。ここで、一般的な支承 4 ではストッパーに衝突するまでの可動代が 200 mm 程度であるが、本実施形態の制振構造 A により、レベル 2 地震時においても支承変位をこの寸法以下に留めることが可能となり、既存の支承（ストッパーを含む）4 をそのまま継続使用しながら大地震でも可動代の範囲内に支承変位を抑制することが可能である。

【0059】

また、慣性質量ダンパー B 2 は相対加速度に比例した反力を生じ、オイルダンパー等の粘性減衰系ダンパー B 1 は相対速度に比例した反力を生じ、支承（ゴム支承）4 は相対変位に比例した反力を生じる特徴がある。そして、本実施形態では、これら制振ダンパー B 1、B 2 を支承部 4 と並列に配置するため、各々の制振ダンパー B 1、B 2 に同一の変位が作用することになり、反力に位相差が生じる。すなわち、支承 4 の反力に対し、粘性減衰系ダンパー B 1 は位相が 90 度ずれ、慣性質量ダンパー B 2 は位相が 180 度ずれる（逆位相になる）。これにより、これらの合力が各々の反力の合計値より大きく低減されることになり、この合力が下部構造 3 に作用する外力になるので、下部構造 3 のせん断力を抑制することが可能になる。

【0060】

また、制振機構 B 1、B 2 を支承 4 に並列配置するだけの比較的簡単な作業なので、施工に当たり特別な技能は必要とされず、新築だけでなく既存橋梁 1 の制震改修にも適用できる。

【0061】

また、従来、このような作用効果を得るための制振装置の最適条件が何ら検討されていなかったが、本実施形態のように制振機構（慣性質量ダンパー B 2 やオイルダンパー B 1）の最適諸元を設定することで、確実に上記のような作用効果を得ることができ、応答低減効果を最大に発揮させることが可能になる。

【0062】

以上、本発明に係る橋梁の制振構造及び橋梁の制振構造の設定方法の一実施形態について説明したが、本発明は上記の一実施形態に限定されるものではなく、その趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更可能である。

【符号の説明】

【0063】

- 1 橋梁
- 2 上部構造（上部工）
- 3 下部構造（下部工）
- 4 支承（支承部）
- 10 ボールねじ
- 11 ボールナット
- 12 回転錘（錘）
- 13 連結部材
- 14 軸受け
- 15 筒体
- 17 接続板
- 18 連結部材
- A 橋梁の制振構造
- B 1 制振ダンパー（制振機構、オイルダンパー、粘性減衰系ダンパー）
- B 2 制振ダンパー（制振機構、慣性質量ダンパー）
- O 1 橋軸
- O 2 制振機構の軸線

【図1】

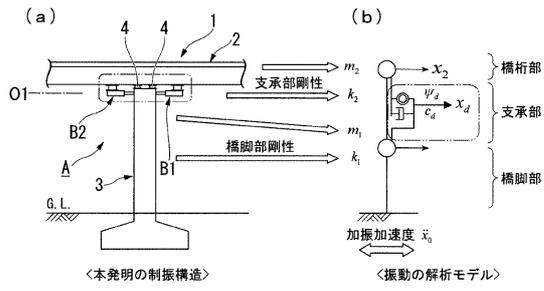


図1

【図2】

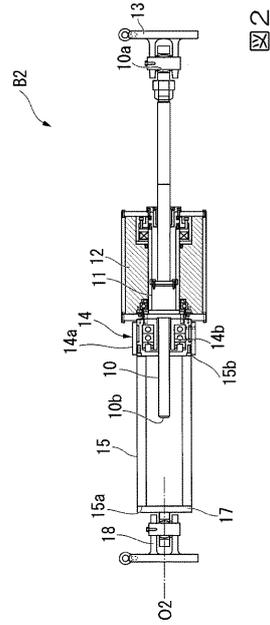


図2

【図3】

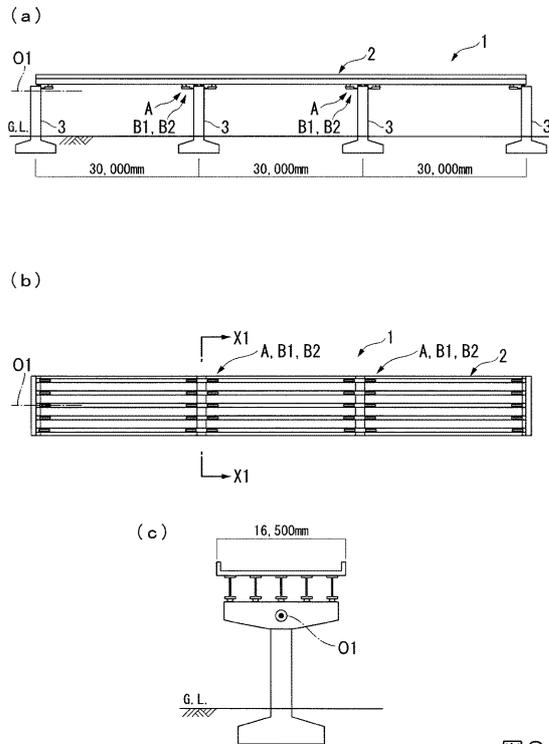


図3

【図4】

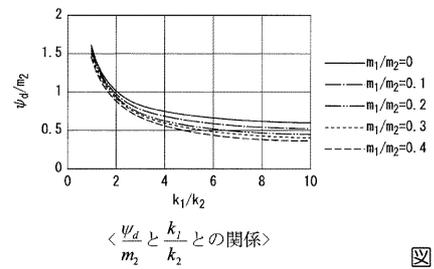


図4

【図5】

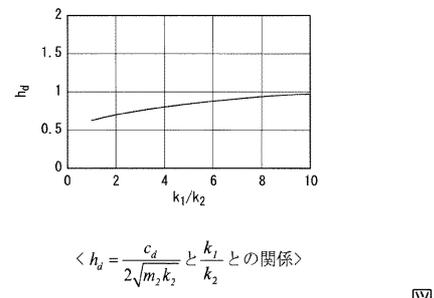


図5

【 図 6 】

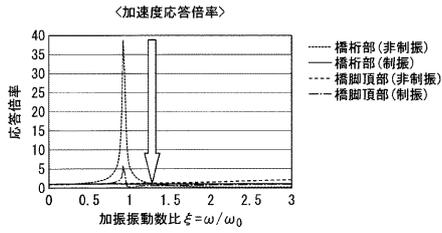


図 6

【 図 8 】

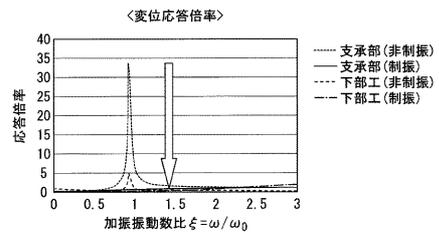


図 8

【 図 7 】

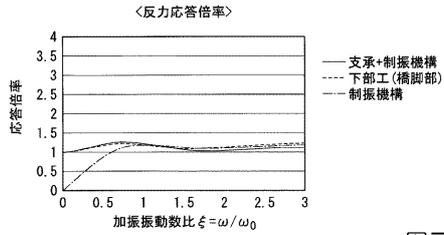


図 7

【 図 9 】

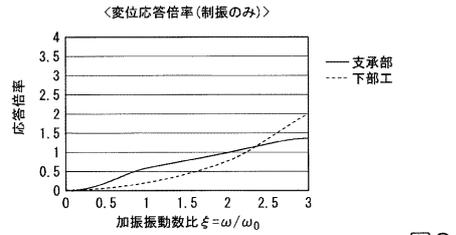


図 9

10

【 図 10 】

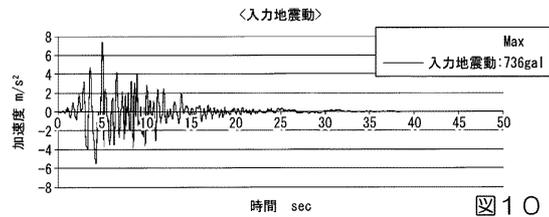


図 10

【 図 11 】

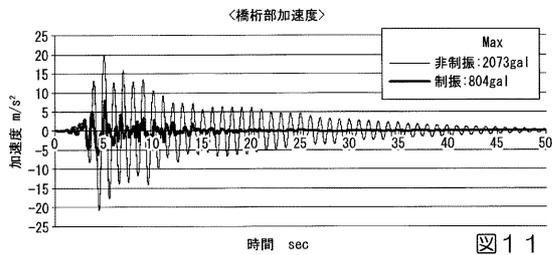


図 11

【 図 14 】

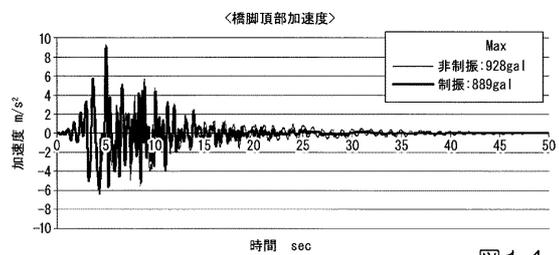


図 14

【 図 12 】

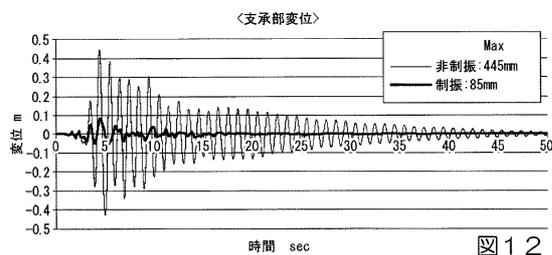


図 12

【 図 13 】

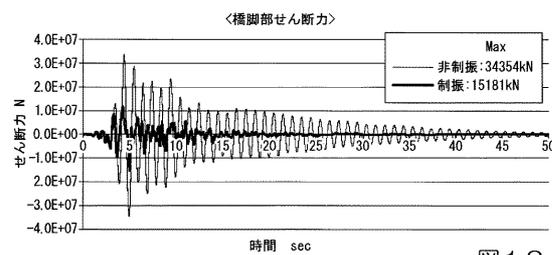


図 13

フロントページの続き

- (72)発明者 蔵治 賢太郎
東京都千代田区霞が関1丁目4番1号 首都高速道路株式会社内
- (72)発明者 大西 孝典
東京都千代田区霞が関1丁目4番1号 首都高速道路株式会社内
- (72)発明者 磯田 和彦
東京都中央区京橋二丁目16番1号 清水建設株式会社内
- (72)発明者 若原 敏裕
東京都中央区京橋二丁目16番1号 清水建設株式会社内

審査官 田中 洋介

- (56)参考文献 特開2004-332478(JP,A)
特開2014-020141(JP,A)
米国特許第06233884(US,B1)
磯田和彦 他, 慣性質量ダンパーを組み込んだ低層集中制震に関する基礎的研究, 日本建築学会
構造系論文集, 2013年 4月, Vol.78 No.686, pp.713-722

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

E01D 1/00 - 24/00
F16F 15/00 - 15/36
JSTPlus / JST7580 (JDreamIII)