

多方向転動型同調質量ダンパーを用いた 都市高架橋上 ITV 柱の制振対策と耐久性確認現地試験

Vibration Control of ITV Pillars on City Highway Bridges Using Multi-Direction Tuned Rolling Damper and Measurement

井田剛史*・平野廣和**・尾松大道***・連 重俊***・富岡 昇****

Tsuyoshi IDA, Hirokazu Hirano, Hiromichi OMATSU, Shigetoshi MURAJI and Noboru TOMIOKA

*正会員 (株)十川ゴム 研究開発部 (中央大学大学院理工学研究科博士後期課程) (〒599-8244 大阪府堺市中区上之 516 番地)

**正会員 中央大学教授 総合政策学部 (〒192-0393 東京都八王子市東中野 742-1)

***正会員 中井商工(株) 東京営業所 (〒272-0014 千葉県市川市田尻 2-5-11)

**** 協和コンサルタンツ(株) 東北支社 (〒980-0802 宮城県仙台市青葉区二日町 6-12)

This paper describes the validity confirmation of design to vibration control of Multi-direction Tuned Rolling Mass Damper (MTRMD) system by the vibration measurement of ITV pillars where MTRMD was given on site of city highway bridges. MTRMD system is the combination of the rotating ball and the hemisphere container which was made of the synthetic rubber. So far the simulation and experimental model tests have been done to estimate the abilities and the performance of MTRMD, the damping effect and the durability was confirmed by the vibration measurement for ITV pillars on site of city highway bridges in this time.

Key Words: vibration control, multi-direction tuned rolling mass damper, pillar structure

1. はじめに

構造物の振動問題の対策手法として、制振装置の適用がある。高架橋上の標識柱や照明柱に代表される長柱構造物用の制振装置としては、衝突による衝撃で制振効果を得るチェーン式ダンパーや鋼球式ダンパーなどの衝撃ダンパーが実用化され実績^{1)~3)}が挙げられている。しかし、衝撃ダンパーは、初期外力が緩やかな場合などの対応の難しさや衝突音などの問題が残されている。さらに近年では、同調質量ダンパー(TMD:Tuned Mass Damper)⁴⁾、同調液体ダンパー(TLD:Tuned Liquid Damper)^{5),6)}、転動型質量ダンパー (TRMD:Tuned Rolling-Mass Damper)^{7),8)}の適用事例も報告されている。

TMD は振り子式やバネ式など様々な形式があり、原理は構造物の固有振動数とほぼ等しい固有振動数を有し、構造物の振動に対して逆位相で TMD ダンパーを振動させて制振をはかるものである。制振装置としては一般的であり、TLD ほど設置面積を必要としないが、機動部が導入されることにより大型になり、かつ、メンテナンスが不可欠である。また、所定方向における制振に関して

一定の効果を有するが、制振方向が限定される点で問題が残る。ところで、対象となる長柱構造物の振動は、高架橋の構造や長柱構造に左右されるため、特定方向に卓越した振動があるとは限らない。著者らの研究^{9)~11)}では、都市高速道路の標準的な標識柱や照明柱で2.0~4.5Hzの範囲で1~3次モードの発生があり、多方向の成分を含むことが確認されている。このため従来の TMD 等では振動モードに適合したダンパーを用意する必要があり、コスト面で対処が難しいことがわかる。

転動型質量ダンパー(TRMD)を用いた研究としては、照明柱の制振装置として現地計測まで行った尾畑・島崎ら^{7),8)}が提案している円柱を転動子とした研究が挙げられる。この研究も制振の方向が限定されており、制振方向毎に装置を付ける必要性を有している。その他製品化された例としては電磁ダンパーなどもあるが、どの制振方法もコスト面やメンテナンス面などが問題となり試験施工段階で終わっているのが現状である。

これを受け著者らは多方向に制振効果を発揮し、かつ低コスト化が可能な多方向転動型同調質量ダンパー (MTRMD: Multi-direction Tuned Rolling-Mass Damper)¹²⁾を開発し、この効果を確認するために長柱モデルを用い

て減衰性能評価を行ってきた。MTRMD の特徴は、水平方向において高加速度が生じる様な初期段階においては衝撃ダンパーとしての特性を有し、一定加速度以下では同調質量ダンパー(TMD)としての特性を有している。さらに鉛直方向には衝撃ダンパーとしての特性を有する。本論では、著者らの従来の研究¹²⁾でこの有効性が実験室段階で確認できたので、次の段階として橋梁付属構造物の一つである都市部高架橋上に設置された監視カメラ用 ITV 柱に MTRMD を設置し、ITV 柱を制振させること目的として性能確認のための現地計測を行った。監視カメラは道路上の交通状況を監視し、渋滞発生による追突事故防止などの重要な役割を有する。しかしながら、交通振動などの影響を受けて ITV 柱が振動し、カメラの視認性が阻害されるといった問題が生じている。この点からも ITV 柱の監視機能を確保し、かつ柱の寿命を延ばすことが制振装置に対する要求仕様となる。

以上の様な背景から、本現地試験ではまず ITV 柱の振動特性を把握し、続いて MTRMD を設置してその制振性能を確認する。さらに耐久性の確認として、MTRMD を設置して半年後、1 年後における制振性能も確認する。この現地試験において、ITV 柱の制振装置の有無による制振性の違いに関するデータを計測することができたので、本論ではこれを中心に論ずることとする。

2. 多方向転動型同調質量ダンパー

2.1 多方向転動型同調ダンパー (MTRMD) の特徴

本論で提案する MTRMD は、写真-1 ならびに図-1 に示す様に、転動する球とそれを受ける高減衰ゴムで構成された半球形の容器の組み合わせである。大振幅時には衝撃ダンパーとしての機能を、小振幅時には TMD の両者の機能を有する。この装置は、著者らの実験室段階での研究¹²⁾により、以下のような特徴を有していることが判っている。

- ① 長柱の卓越する振動を効率よく抑制する。
- ② 多方向における振動に対応できる。
- ③ 比較的小振幅の振動も抑えられる。
- ④ 機械駆動部分が無いので、給油等が不要でメンテナンスフリーである。
- ⑤ 簡単な構造であり小型であるので、既存の長柱に対して比較的容易に設置可能である。
- ⑥ 低コストで製作できる。
- ⑦ 金属同士の接触が無いので、制振作動時の騒音がほとんどない。
- ⑧ 高減衰ゴムを球面座に用いることで、TRMD の適用可能な振動数範囲を拡大し、かつ転動子の転動を素早く止めて構造物の揺れ戻し現象を抑制する。

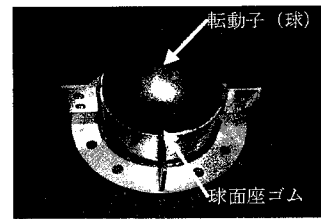


写真-1 転動型同調質量ダンパー

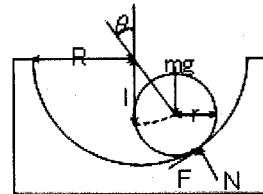


図-1 転動型同調質量ダンパー数値解析モデル

2.2 固有振動数の算出

MTRMD は、一定加速度以下では TMD としての特性を有している。ここで、起振力が一方向から作用する場合には、転動子と座が球面であることから、2 次元の運動方程式で検討する。このことから固有振動数は、図-1 に示す転動子の半径 r と、それを受ける球面座の半径 R から構成される自由運動方程式から求めることができる。ここで、 m は球の質量、 l は有効半径、 θ は球重心の振り角、 F は外殻から受ける摩擦力、 N は垂直抗力、 g は重力加速度である。球は滑ることなく回転し運動すると考えると、図-1 の系より、外殻から受ける摩擦力 F 方向の釣り合い式は式(1)で表すことができる。

$$ml\ddot{\theta} = F - mg \sin \theta \quad (1)$$

またこの時、球の回転運動の式は式(2)になる。

$$-Fr = \frac{1}{2}mr^2 \times \frac{l}{r} \ddot{\theta} \quad (2)$$

(1)、(2)式を整理すると式(3)の自由運動方程式を導くことができる。

$$\ddot{\theta} + \frac{2}{3} \frac{g}{l} \sin \theta = 0 \quad (3)$$

θ が微小で $\sin \theta \approx \theta$ とすれば、固有振動数は式(4)で与えられる。

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2}{3} \frac{g}{l}} \quad (4)$$

3. 計測概要

3.1 対象監視用 ITV 柱の計測概要

都市部高架橋に設置された監視用 ITV 柱に多方向転動型同調質量ダンパー (MTRMD) を設置して、ITV 柱を制振させることを目的として、ITV 柱が設置されている

現地の振動計測を実施した。制振効果確認試験として、MTRMD 設置時の制振性能、また耐久性試験として、MTRMD 設置半年後及び1年後の制振性能についての現地計測を実施した。初期時の制振効果確認試験は、2004年10月28日から11月11日の約2週間にわたり実施し、半年後の耐久性試験は、2005年5月24日から26日の間に、さらに約半年後の2005年12月7日から8日の間に再度同様の計測を行い、制振性能の変化の有無を確認した。現地計測を行ったのは、都市部高架橋でありダブルデッキ構造のゴム製支承を有する鋼床版連続箱桁橋の上部デッキ部分である。現地計測地点を写真-2に、図-2に制振対策の対象となったITV柱の概略図を示す。

ITV柱は高さ5.0mの $\phi 139.8 \times 6.6$ (STK400)の鋼管柱上に監視用カメラを設置したもので、壁高欄上に固定された設置台にアンカーボルトで固定されている。なお、鋼管柱は落下防止のために基部から高さ0.8mの位置まで二重管構造となっている。このITV柱に最適なMTRMDを設計するため、ITV柱の固有値解析を行った。解析モデルは3次元梁モデルとして、頂部にカメラ相当の質量20kgを付加したモデルとした。図-3に固有値解析の結果を示す。後述の実測値4.3Hzより若干低い4.0Hzとなっているが、これは二重管の影響などが考えられる。

3.2 MTRMD の設計

MTRMDは、図-4の鳥瞰図に示すように監視用カメラ直下の鋼管内に内蔵させるかたちで取り付けられている。MTRMDの特徴は、鉛直方向の衝撃ダンパーとしての機能を期待するため、蓋の下面にも緩衝ゴムを貼り付け、衝撃ダンパーとしての効果を高めたことである。さらに、この緩衝ゴムの取付けとゴム製の球面座により、衝撃ダンパーとしての作動時に発生する騒音を極力発生させないようにしている。

MTRMDの固有振動数（以後設計振動数とする）は、球面座の径、球の径より式(4)によって求め、MTRMDをITV柱の1次の振動モードに適用するように文献¹²⁾に基づき仕様を決定すると、表-1に示す様になる。

ここでの設計振動数を3.3Hzとし、式(5)で求められる制振材の最適固有振動数3.87Hzよりも15%程度低く設定している。

$$f_a = \left\{ \frac{1}{1 + \rho} \right\} f_b \quad (5)$$

ここで f_a は制振材の最適固有振動数、 f_b は長柱の固有振動数、 ρ は質量比である。これは著者らの研究¹²⁾において、MTRMDが500gal程度の加速度の場合は、設計振動数から高振動数側に35%程度の範囲で制振効果が十分に有効である結果を反映したものである。またTRMDの固有振動数よりも低い振動数側においては、制振効果が減少することを避ける安全側の設計を考慮したためである。よって、ここでのMTRMDは、3.3Hz～4.5Hzの間を制振効果が得られる範囲としている。

表-1 MTRMD 設計仕様

項目		数値
球面座直径 (mm)		130
転動子 (球)	直径 (mm)	100
	質量 (kg)	5.9
	質量比 (%)	3.3
MTRMD 設計振動数 (Hz)		3.3
ITV 柱の固有振動数 (Hz)	解析値	4.0
	実測値	4.3

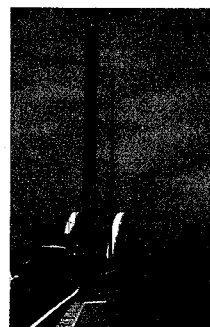


写真-2 現地計測点

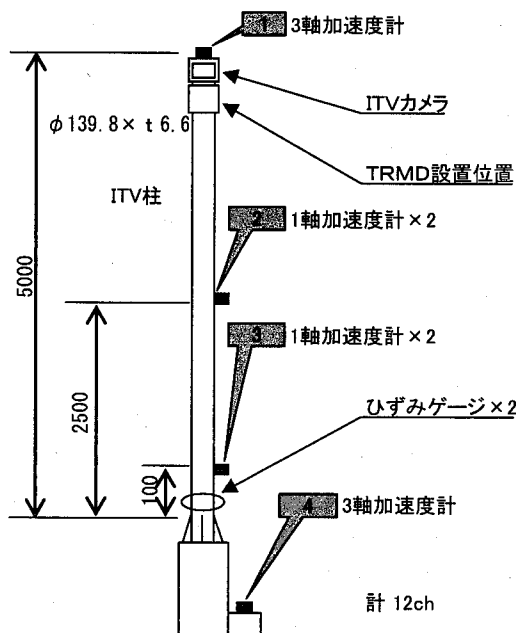


図-2 ITV計測機器配置図

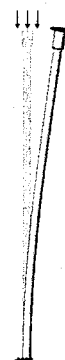


図-3 ITV柱の固有値解析
(1次モード、4.0Hz)

3.3 計測方法及び計測項目

(1) 計測方法

計測箇所及び計測事項については図-2 及び表-2 に示すように、ITV 柱頂部及び路面の加速度に関してはそれぞれ三軸加速度計（共和電業 AS-5TG 及び 1TG）を用いて水平 2 方向（橋軸方向及び橋軸直角方向）と鉛直方向を計測し、ITV 柱中央部及び ITV 柱底部に関しては一軸加速度計（共和電業 AS-1GB）を用いて水平 2 方向をそれぞれ計測した。また、ITV 柱基部に橋軸直角方向のひずみを計測するために、鋼管の外側対面方向 2 カ所にそれぞれひずみゲージ（共和電業 KFW-5-120-C 1-11）を貼り付けた。データのサンプリング周波数は 100Hz として、10 分間の計測を 1 時間毎に毎時正時にデータロガー（共和電業 EDX-1500A）を介してパーソナルコンピュータに取り込み記録した。

(2) ITV 柱の振動特性確認

ITV 柱の 1 次の振動モードが 4Hz 付近と考えられることから、路面振動との共振によって、監視カメラの視認性に影響を及ぼすことが考えられる。そこで、路面振動特性を確認し、監視カメラの視認性や柱の発生応力を確認するため、まず非制振の状態での ITV 柱の各部位における振動計測を実施する。

(3) MTRMD 設置時の ITV 柱の振動特性

非制振時と同様に、MTRMD を設置した時の路面と ITV 柱の加速度を計測し、MTRMD の設置によって得られる減衰性能について、非制振時の減衰性能と比較した。ただし、ほぼ同時時間帯に振動計測を実施しているものの、1 本の ITV 柱を対象としていることから、非制振時と MTRMD 設置時の計測時間を分けて別々に行っている。よって起振源となる車両通行は、両者の計測状態において一致していない。しかし、車両により桁本体が起振され、その振動が ITV 柱に伝搬すると考え、非制振時と制振時の路面上の加速度がほぼ同じレベルのデータを採用し、ITV 頂部の応答加速度を確認すること、さらに路面に対する ITV 柱の応答倍率を確認することで非制振時との振動特性を比較する。

(4) ITV 柱の自由振動計測による減衰定数の算出

交通振動などによる強制振動下では ITV 柱及び MTRMD の減衰定数を算出することが難しい。このため図-5 に示すように ITV 柱の頂部をロープ牽引し、開放させて自由振動時の ITV 柱の振動計測を実施し、非制振時及び MTRMD 設置時における ITV 柱の減衰定数を算出する。

(5) 長期設置後の MTRMD 設置 ITV 柱の振動特性

ITV 柱に設置した MTRMD の初期性能を確認した後、時間経過と共に制振性能が低下しないかを確認するため、ITV 柱内に MTRMD を設置しておき、半年後及び 1 年後の ITV 柱の振動計測を行い、制振性能を確認する。計測方法は、(1) と同様である。

表-2 計測点对应表

計測位置	対応計測機器	測定箇所
1	ITV-1-X	柱頂部橋軸直角方向
	ITV-1-Y	柱頂部橋軸方向
	ITV-1-Z	柱頂部鉛直方向
2	ITV-2-X	柱中央部橋軸直角方向
	ITV-2-Y	柱中央部橋軸方向
3	ITV-3-X	柱底部橋軸直角方向
	ITV-3-Y	柱底部橋軸方向
4	ITV-4-X	路面橋軸直角方向
	ITV-4-Y	路面橋軸方向
	ITV-4-Z	路面鉛直方向
基部歪み	GAGE-IN	橋軸方向内側（橋軸直角方向ひずみ）
	GAGE-OUT	橋軸方向外側（橋軸直角方向ひずみ）

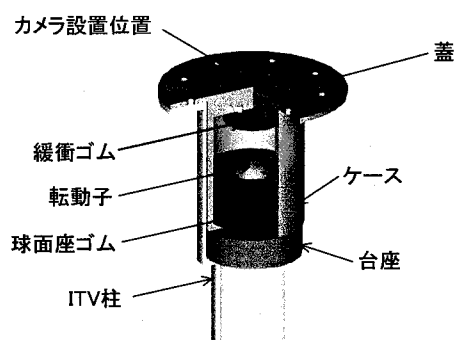


図-4 現地計測に用いた MTRMD の鳥瞰図

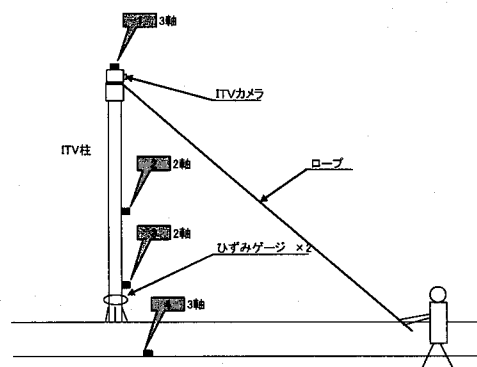


図-5 ロープ牽引による ITV 柱の自由振動実験

4. 計測結果

4.1 非制振時の ITV 柱の振動特性

(1) 路面振動特性と ITV 柱の振動特性

非制振時の ITV 柱の振動特性として、路面振動及び ITV 柱各部位における加速度波形及びパワースペクトルを図-6 に示す。この結果、路面振動は 3.8Hz 付近が卓越しており、その振幅は、橋軸直角及び橋軸方向に小さく、鉛直方向に大きいことがわかる。それに対して ITV 柱の振動特性を見ると、4.3Hz が卓越しており、ITV 柱頂部の水平方向（橋軸及び橋軸直角方向）で大きく振れていることがわかる。これは鉛直方向を主とした路面から強

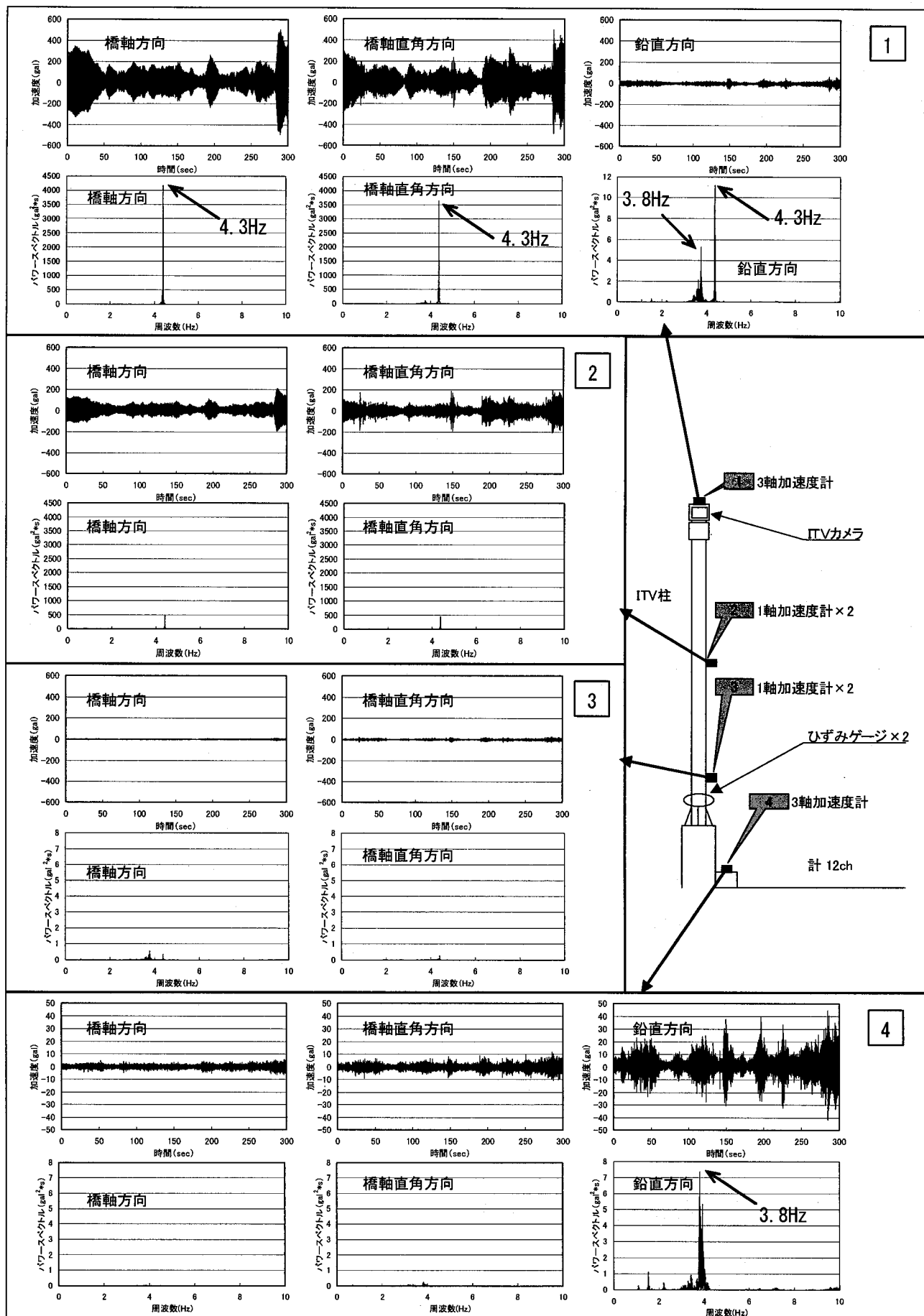


図-6 非制振時の ITV 柱及び路面の振動特性

制振動が、ITV の固有振動数に近い振動数で入力されたために、ITV 柱が共振したものと考えられる。次に ITV 柱頂部の鉛直方向については、水平方向に比べ振幅は小さいが、3.8Hz と 4.3Hz の 2 つのピークを有していることがわかる。3.8Hz は路面振動が直接的に ITV 柱頂部に伝達されたもので、4.3Hz のピークは、ITV 柱の水平方向の振動数と一致することからも、水平方向の振動による ITV 柱頂部の首振りが検出されたものと推察できる。次に ITV 頂部の挙動として、水平方向（橋軸—橋軸直角方向）の変位及び写真-3 のカメラ視点を反映した鉛直—橋軸直角方向の変位リサージュを図-7 に示す。ITV 柱頂部の水平方向変位は、橋軸直角方向に卓越成分を有する回転運動的な動きを示し、その変位は約±7mm である。一方、写真-3 に示す ITV 柱頂部の映像変位（カメラ視点の変位）は、橋軸直角方向に±7mm、鉛直方向に±1mm の楕円運動をしていることがわかる。これらから ITV 柱は首振りを伴う 4.3Hz の水平振動が主であり、これがカメラの視認性を著しく損なう原因であると考えられる。よって、水平方向の回転運動的な挙動を制振させることが重要であり、そのためにも多方向に有効な制振性能を有する制振装置が必要である。

(2) ITV 柱の基部応力

図-8 に ITV 柱の基部に取り付けたひずみゲージのデータから算出した橋軸直角方向の発生応力の波形とその発生応力のパワースペクトルを示す。これらの結果より、柱基部の発生応力の波形は、図-6 の ITV 柱頂部における波形と非常に類似していることがわかる。このことから、柱基部の発生応力は、路面からの強制振動成分でなく柱

の固有振動に依存していることがわかる。これより、柱の固有振動を制振することで、柱基部の発生応力を抑えることができ、結果として柱の疲労耐久性の向上も期待できる。

4.2 MTRMD 設置による ITV 柱の振動減衰効果

図-9 に同時刻帯における非制振時と MTRMD 設置時の ITV 柱頂部における橋軸、橋軸直角、鉛直方向の加速度波形及び FFT 解析で求めたパワースペクトルを示す。

(1) ITV 柱頂部水平（橋軸及び橋軸直角）方向の振動

図-9 より、非制振時の ITV 柱頂部の水平方向では、最大 500gal 程度の加速度が計測されたのに対し、MTRMD を設置することで最大 200gal 程度まで低減していることがわかる。また、パワースペクトルでも ITV 柱の 1 次モードである 4.3Hz のピークが大きく低減している。

(2) ITV 柱頂部鉛直方向の振動

図-9 の柱頂部鉛直方向を見ると、非制振時に見られた 2 つのピーク（3.8Hz 及び 4.3Hz）の内、4.3Hz は、大きく低減されている。これは、前述のとおり、水平方向の振動による ITV 柱の首振りと考えられ、MTRMD によって水平振動が低減されたことによるものと判断する。しかし、3.8Hz のピークについては、路面からの強制振動と考えられ、非制振時とほとんど相違は見受けられない。ただし、この 3.8Hz を含む鉛直方向の振動については、4.3Hz の水平振動に比べ振幅が非常に小さくカメラの視認性に影響するとは考えにくい。そこで、本計測結果での 3.8Hz が路面の強制振動で、4.3Hz が ITV 柱の共振であることを確認する。また、非制振時と制振時の同時刻

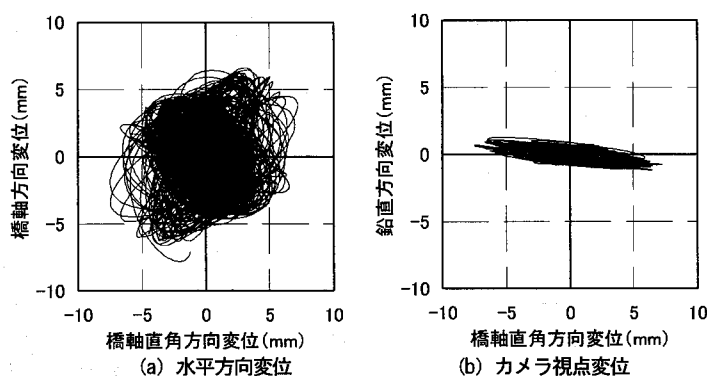


図-7 柱頂部の変位リサージュ

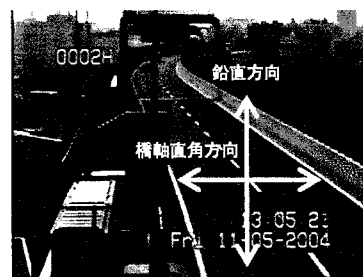


写真-3 実際のカメラ映像

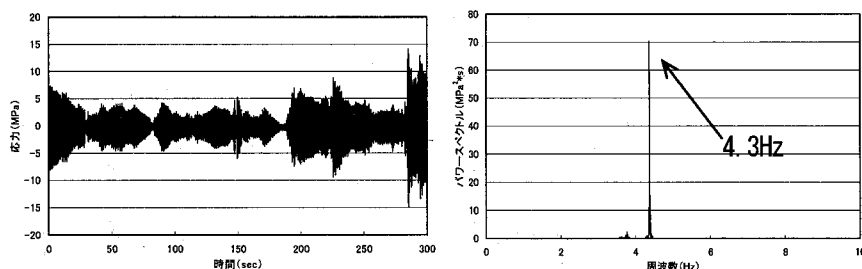


図-8 ITV 基部応力の時系列波形とパワースペクトル

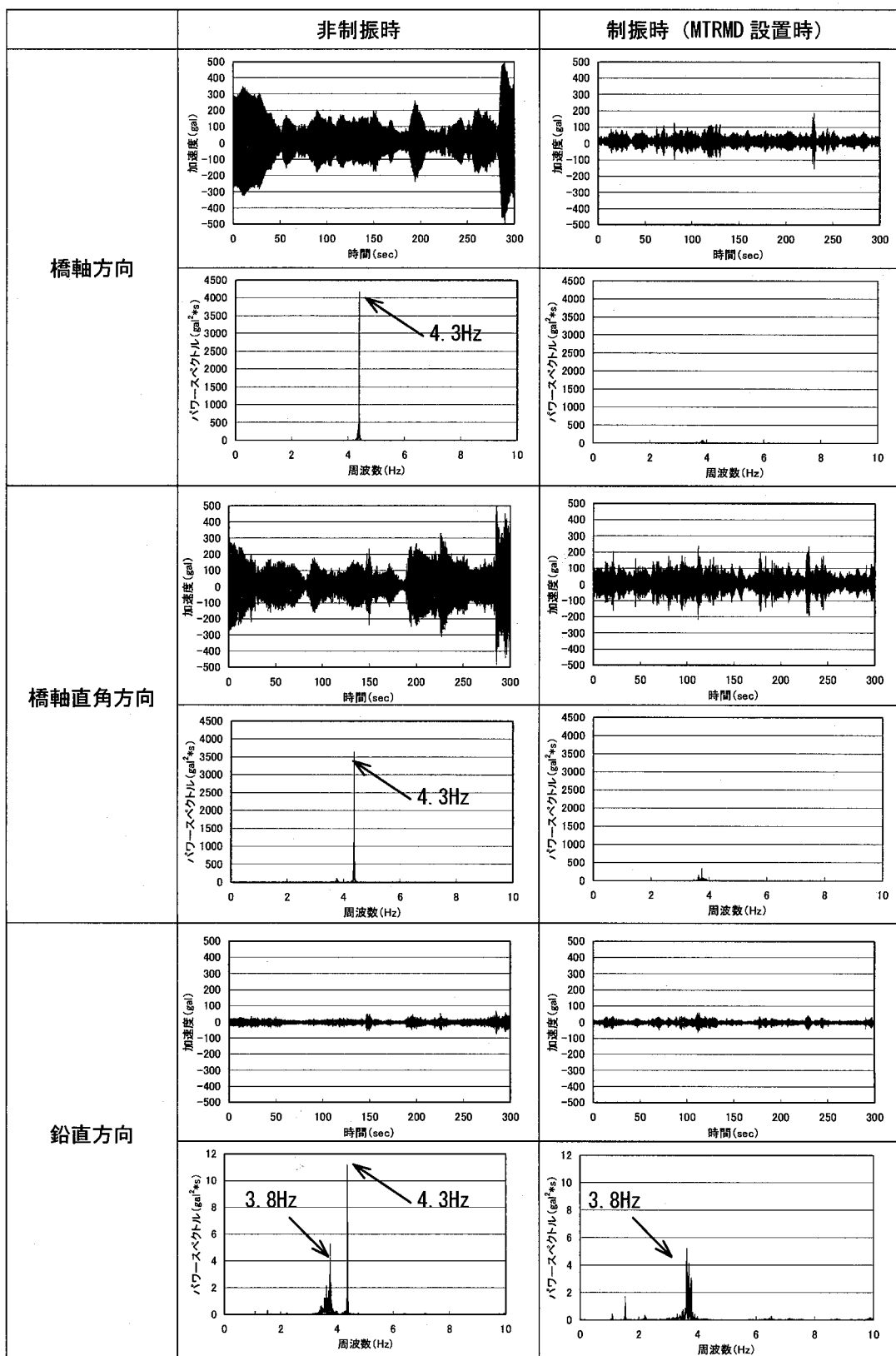


図-9 非制振時及び制振時における ITV 柱頂部の加速度波形及びパワースペクトル

帯における最大加速度に差異は見られたが、同時計測でないことから、路面振動に対する ITV 柱頂部の加速度応答倍率の周波数特性を図-10 に示し、非制振時と制振時の相対比較を行う。図-10 より、非制振時の水平振動では、

4.3Hz 付近の応答倍率が卓越しており、ITV 柱の 1 次振動モードによる共振であることがわかる。しかし、MTRMD での制振時では、その応答倍率が大きく低減されており、ITV 柱の振動に同調した制振効果が確認でき

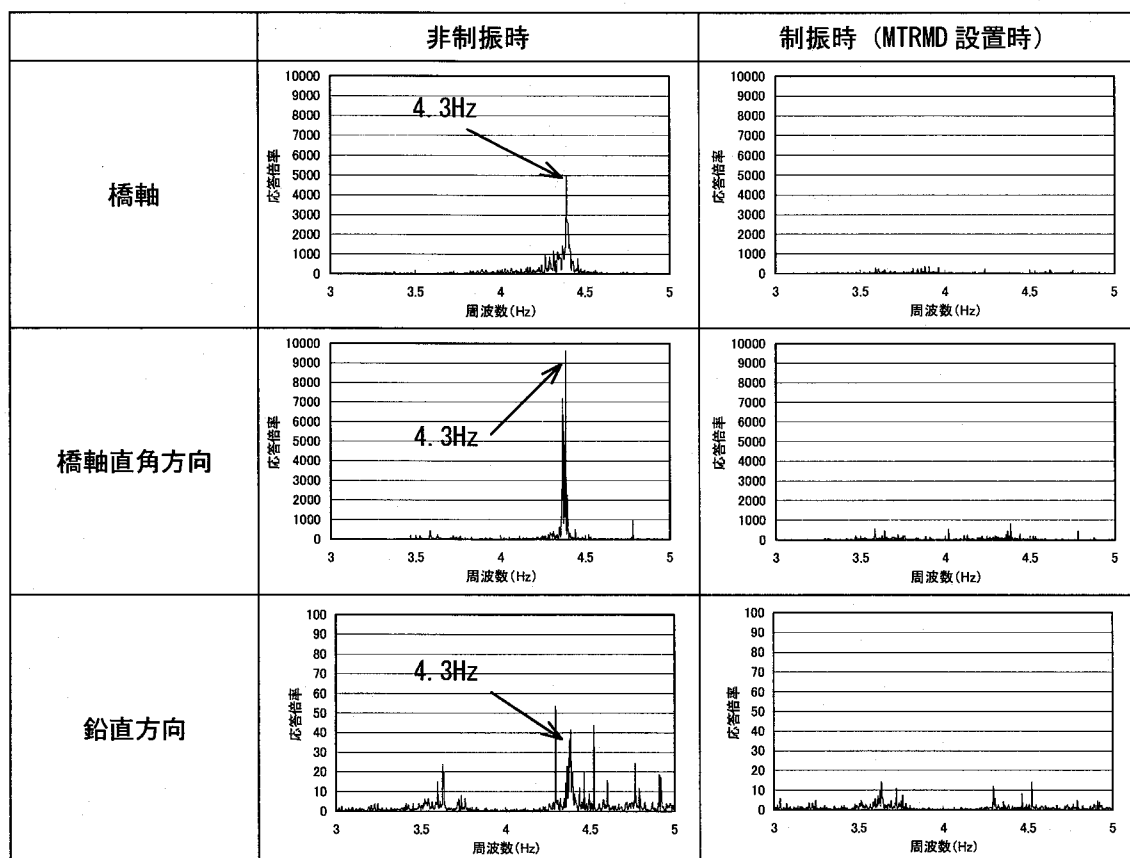


図-10 非制振時及び制振時における路面振動に対する ITV 柱頂部の応答倍率

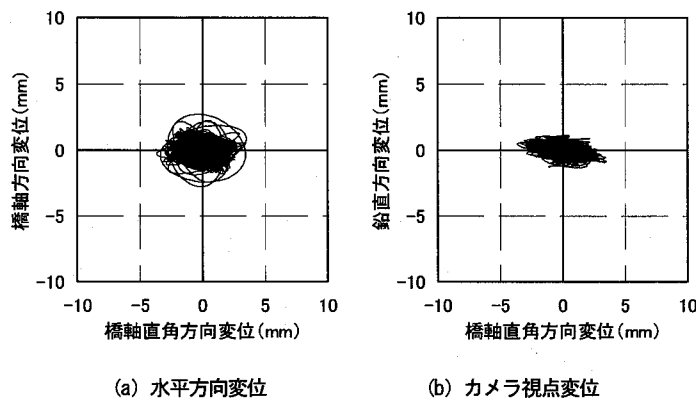


図-11 制振時の ITV 柱頂部の変位

た.それは、鉛直方向でも同様に見られる。しかし、3.8Hz については、非制振時、MTRMD 設置時に関わらず、路面振動に対する ITV 柱頂部の加速度応答倍率が水平・鉛直方向共に小さく、この結果からも路面の強制振動が増幅することなく ITV 柱で検出されたものと考えられる。

(3) カメラの視認性について

これらの結果より、カメラの視認性に弊害を与えているのは、ITV 柱の水平方向の振動であり、鉛直方向については、カメラの視認性を損なわせる振動はほとんど生じていないものと判断する。したがって、鉛直方向の振動対策として設置した MTRMD の緩衝ゴムに、転動子が

飛び跳ねて衝突する可能性は低い。

MTRMD によるカメラ視認性改善効果として、ITV 柱の水平振動を低減した結果、実際のカメラ映像のブレも改善されたことが確認できている。しかし、カメラ映像で結果を示すことができないため、図-7 の非制振時における ITV 柱頂部の変位リサージュと同様に制振時の ITV 柱頂部の変位リサージュを図-11 に示して比較する。その結果、非制振時の水平方向で $\pm 7\text{mm}$ 生じた変位が、MTRMD の設置によって、 $\pm 3\text{mm}$ 程度まで半減しており、カメラのブレが低減されていることが確認できた。

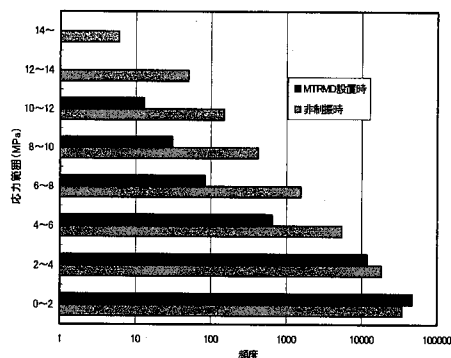


図-12 ITV柱基部（橋軸直角方向）の発生応力頻度

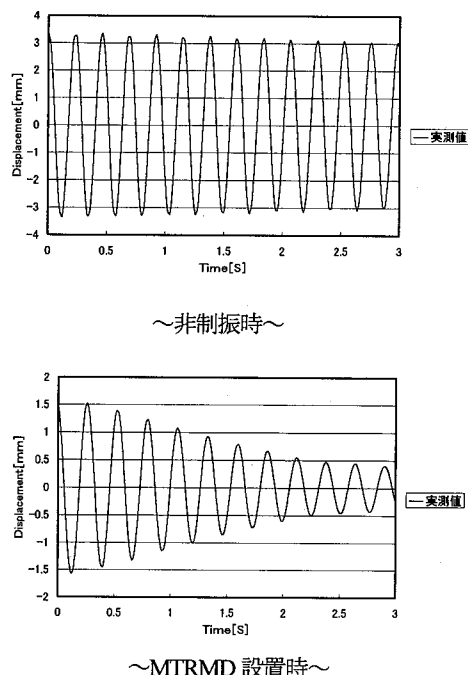


図-13 ITV柱頂部の自由振動波形

(4) MTRMD 設置による ITV 柱基部の応力低減効果

図-8 のように ITV 柱基部に発生する応力が, ITV 柱の固有振動に依存したものであることから, MTRMD 設置による ITV 柱の水平振動低減によって, ITV 柱基部の応力低減が期待できる. それを確認するため, 非制振時と制振時における ITV 柱基部（橋軸直角方向）の応力発生頻度（ $\Delta t=0.01s$ ）を求め, 図-12 に示す. なお, 本結果に用いたデータは, 図-9 で示した ITV 柱振動時のものである.

非制振時と MTRMD 設置時で同一の振動条件下ではないが, 道路状況に大差のないことから比較可能なものとする. これより, MTRMD 設置によって 4MPa 以上の応力頻度が低減されており, さらに 12MPa 以上の応力発生がなくなっていることがわかる. これからも MTRMD 設置によって, ITV 柱に発生する応力レベルを低減し ITV 柱の疲労耐久性の向上が期待できる.

表-3 ITV 柱の減衰定数

項目	非制振時	制振時
振幅	3.44mm	1.73mm
減衰定数	0.0108	0.1614
減衰固有角振動数	27.38	23.73
位相差	-0.001	0.000649

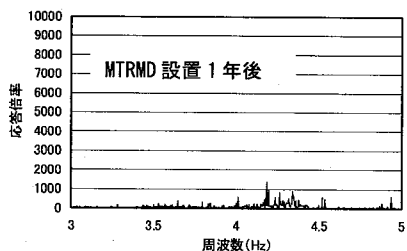
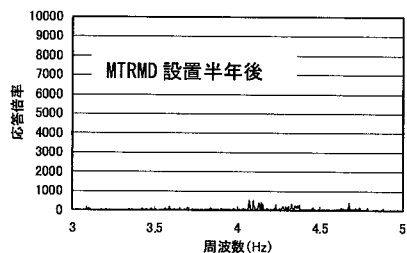
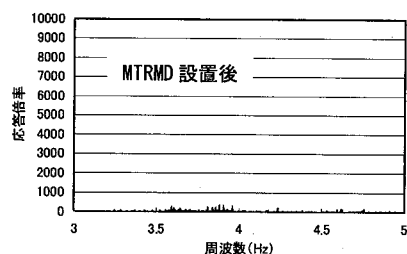
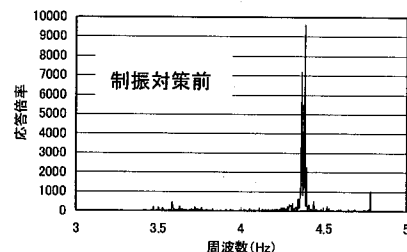


図-14 ITV 柱頂部応答倍率の経時変化

4.3 ITV 柱の自由振動による減衰定数計測

図-5 のように ITV 柱をロープで牽引し, 自由振動させた場合における非制振時及び MTRMD 設置時の ITV 柱頂部の加速度波形から算出した減衰変位波形を図-13 に示す. なお, 図-13 の初期変位が異なるのは, 交通規制下で可能な限り車両走行などの影響のないデータを抽出したが, 非制振時は常時振動しているため

, 制振時よりも大きくなるためである. また, その減衰波形を用いて, 式 (6) よりシンプレックス法を用いた非線形最適化により 4 つのパラメータの同定を行った.

$$\eta(t) = Ae^{-\omega_0 t} \cos(\omega_q t - \theta_0) \quad (6)$$

ここで, ω_q は減衰固有角振動数, A は振幅, θ_0 は位相差,

ω_0 は固有角振動数である。非制振時と制振時の減衰定数を確認することとし、表-3に解析結果を示す。これより、MTRMDを設置することにより、ITV柱の減衰定数が非制振時の1%からMTRMD設置時の16%へと増加しており、MTRMDの制振効果が有効であることが確認できた。

5. 耐久性の確認

MTRMDの耐久性を確認するため、ITV柱に設置し、半年及び1年を経て、再度現地計測を実施した結果として、MTRMD設置時の路面加速度に対するITV柱頂部の加速度応答倍率を図-14にて比較する。

MTRMDを設置後、ITV柱頂部の応答倍率は大きく低減されたが、その半年後及び1年を経過しても制振効果はほとんど変化は無く、路面振動によるITV柱の共振を抑制していることがわかる。

以上より、1年間の期間においても本研究で提案したMTRMDの性能に変化が無く、引続き制振効果を保持していることが確認できた。

6. おわりに

本研究で提案した多方向転動型同調質量ダンパー(MTRMD)は、本現地試験で対象とした高架橋上の長柱のように、多方向に動く場合でも、十分な制振効果が得られることが現地試験から確認された。

本現地試験の結果から得られたMTRMDの制振装置としての有効性をまとめると以下ようになる。

- ① MTRMDを設置することにより、ITV柱の減衰定数が非制振時の1%から設置時の16%へと増加しており、制振効果が有効であることが確認された。
- ② MTRMDを設置することにより、ITV柱の水平振動を低減した。その結果、実際のカメラ映像のブレが改善され、カメラ視認性改善効果が確認された。
- ③ MTRMDの設置により、ITV柱基部に発生する応力レベルを低減することができたことから、くり返し荷重による疲労寿命を延ばすことが期待できる。
- ④ 著者らの研究¹²⁾による設計振動数の設定方法において、MTRMDは設計振動数より高振動数側で制振効果が十分に有効であることを示していたが、これが現地試験からも確認された。
- ⑤ 1年間の長期観測において、MTRMDの制振性能にほとんど変化は無く、耐久性の確認ができた。

ところで、本試験では観測されなかったが、鉛直方向も無視できない大きな加速度が生じた場合でも、著者らが文献¹²⁾で確認したようにMTRMDではゴム球面座及

び緩衝ゴムに転動子が衝突することにより、衝撃ダンパーとして機能することが考えられる。したがって、MTRMDは比較的小振幅から大振幅の振動で、かつ多方向に有効なダンパーとして適用が期待でき、長期観測でも確認されたように、金属腐食などの劣化要因もなく、かつメンテナンスフリーであるため、トータルコストダウンが可能である。

最後に、本現地計測で用いたMTRMDは、現在も都市高架橋上のITV制振装置として稼働しており、ここに設置されたテレビカメラから道路管制センターの管理者にブレの少ない鮮明な映像を送っていることを付記する。

謝辞：現地試験を行うに際しては、中央大学理工学部土木工学科の学生諸君から協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。最後に、本研究の一部は(独)日本学術振興会科学研究費・基盤研究(C)及び中央大学理工学研究所共同研究助成の給付を受けたことを付記する。

参考文献

- 1) 山田勝彦,飯田毅,和泉夕祐,多田仁志：照明柱の風による振動とチェーンダンパの制振効果,土木学会第43回年次学術講演会, I-307, pp.666-667, 1988.
- 2) 和泉夕祐,山田勝彦,渡辺奉昭：照明柱の風による振動とチェーンダンパの制振効果(その2.実大振動試験),土木学会第43回年次学術講演会, I-308, pp.668-669, 1988.
- 3) 和田克哉,恵谷瞬吾,東田弘貫,高野晴夫：横浜ベークリッジの耐風対策,橋梁と基礎, 89-8, pp.43-48, 1989.
- 4) 脇村宣郁,南條正洋,松本茂,畑中章秀,安藤高士,松田良平：制振装置による標識柱の振動対策,橋梁と基礎, Vol.39 No.4, 2005.
- 5) 森口学,吉村孝治,吉川賀康：1号東山高架橋制振装置内蔵型照明柱について,建設電気技術 2002 技術集, pp.124-126, 2002.
- 6) 街灯の揺れを抑える制振装置,日経メディカル, No.516, 1997.
- 7) 尾畑守夫,森尻涉,島崎洋治：転動型制振装置の自由振動における制振効果,構造工学論文集 Vol.47A, pp.381-391,2001.
- 8) 尾畑守夫,森尻涉,島崎洋治：転動型制振装置の照明柱に対する制振効果,土木学会論文集 Vol.76/I-68, pp.339-330, 2004.
- 9) 有田新平,安部和隆,平野廣和,佐藤尚次：都市高架橋上での振動を考慮した片持ち式柱の振動特性の検討,土木学会関東支部第32回技術研究発表会概要集, I-41, 2005.
- 10) 松井謙介,平野廣和,佐藤尚次：橋梁付属物としての門型標識柱の振動特性,土木学会関東支部第30回技術研究発表会公演概要集, I-68, 2003.
- 11) 三木孝則,松井謙典,平野廣和,佐藤尚次：門型標識柱の力学的特性評価に関して,土木学会第58回年次学術講演会第I部門, I-746, 2003.
- 12) 井田剛史,三木孝則,高橋多佳子,連重俊,平野廣和,佐藤尚次：多方向転動型同調質量ダンパーによる長柱構造物の制振対策,土木学会構造工学論文集, Vol.51A, pp.437-446, 2005.

(2007. 4. 11 受付)