

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19760379

研究課題名 (和文) 大スパン構造の新しいロバスト制振法に関する研究

研究課題名 (英文) Robust Vibration Control Method for Large-span Structures

研究代表者

吉中 進 (YOSHINAKA SUSUMU)

大阪市立大学・大学院工学研究科・特任講師

研究者番号：70401271

研究成果の概要：

(1) 鋼板で製作したスパン 8.6m のアーチモデルを用いて、振動台実験により MTMD 法の大スパン構造への適用性を確認した。

(2) 上記のモデルを用いて、構造物の固有振動数の変動に対する制振効果のロバスト性を確認した。

(3) 制振効果が外力の特性に依存しないロバストな制振システムとして、初期変位付与型 TMD を提案し、インパルス応答に対する制振効果を解析的に確認した。

(4) 実構造物の固有振動数変動の現状と要因を文献調査により確認した。

(5) 球殻状単層スペースフレーム構造のように MTMD の設置によるモード形状の変化が大きい構造物における MTMD 設計法 (MTMD 分割法) を新たに提案し、その効果を解析的に確認した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,100,000円	0円	1,100,000円
2008年度	2,100,000円	630,000円	2,730,000円
総計	3,200,000円	630,000円	3,830,000円

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学 (建築構造・材料)

キーワード：建築構造 振動制御 大スパン構造 ロバスト性 TMD MTMD

1. 研究開始当初の背景

研究の背景を以下の3項目に整理して述べる。

(1) 大スパン構造における最近の主な振動被害例として、①大地震時における体育館屋根天井材落下被害、②大スパン床スラブにおける環境振動障害などがある。今後は床スラブの大スパン化が進むことにより環境振動被害が増加し、これらの構造物に対する制振対策の必要性がさらに増すものと思われる。

(2) 従来一般的に用いられている TMD は、

主振動系に対して1個の TMD が設置された形式である。TMD は設置にあたり支点が必要でないため、設計の自由度が高いなど他の制振手法にない優れた点があるが、設計パラメーターの誤差に敏感であるという理由から、建築構造物への適用が難しいケースがあった。さらに実際に設置された場合でも、設計時から構造物の固有振動数が変化することにより、設計時に想定した制振効果が得られない可能性もある。

(3) MTMD 法は固有振動数の異なる複数

の小型の MTMD があるバンド幅を持って設置された形式である。MTMD 法は、①共振点における制振効果に優れる、②同調比や減衰比に対するロバスト性に優れる、という特徴がある。このように設計パラメータ、特に構造物の固有振動数の変動に対するロバスト性に優れた MTMD 法を用いることで大スパン構造への適用範囲が拡大できる可能性がある。

2. 研究の目的

研究代表者（吉中）は、これまで大スパン構造の振動の特徴である固有振動数の近接した複雑な形状をした複数の振動モードの制振を目的として、MTMD 法のロバスト性を活かした新しい設計パラメータの設定法を提案し、MTMD を空間に分散配置させることにより、主にスペースフレーム形式の大スパン屋根構造の地震力に対する制振効果を解析的に確認してきた。その結果、提案した分散型 MTMD が通常の TMD と比較して構造物全体における制振性能に優れていることが分かった。

本研究は、これら既往の研究結果を受けて、MTMD 法の構造物の固有振動数変動に対するロバスト性に着目して、一般的な大スパン構造の振動制御に対する適用範囲の拡大を図ろうとするものである。

3. 研究の方法

研究の方法を以下の 4 項目に整理して述べる。

(1) 振動台実験による MTMD 法の大スパン構造への適用性の確認

スパン 8.6 cm の簡単なアーチモデルを製作し、MTMD 法の大スパン建築構造への適用性を、東京大学生産技術研究所保有の 1 自由度振動台を用いて実験的に確認する。

(2) 振動台実験による MTMD 法のロバスト性の確認

MTMD 法の構造物の固有振動数変動に対するロバスト性を実験的に確認する。

(3) 新しいロバスト制振システムの可能性の検討

インパルス応答を例に、TMD または MTMD の課題である過渡応答初期の制振効果を向上させるための手法を解析的に検討する。

(4) 実構造物の固有振動数変動の調査

実構造物が使用中にどの程度固有振動数変動を生じるか、またその要因について、文献調査を行う。

4. 研究成果

研究成果を 3. で分類した 4 項目に整理して述べる。

(1) 振動台実験による MTMD 法の大スパン構造への適用性の確認

鋼板を折り曲げたスパン 8.6 cm のアーチモデルを製作し、写真 1 に示すように板バネと錘で MTMD 模型を製作してアーチモデル上に設置した。MTMD の固有振動数は板バネの長さを変えることにより調整した。図 1 に周波数応答に関する通常 TMD と MTMD の実験結果、MTMD の解析結果を示す。実験結果と解析結果で応答の大きさや応答ピークが生じる周波数に若干の違いがあるが、通常 TMD と比較して、MTMD が設定バンド幅内で安定した制振効果が得られるという特徴が確認できた。

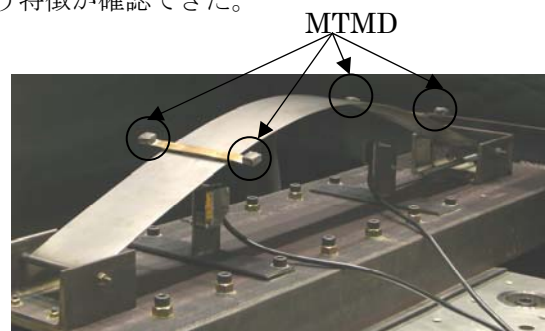


写真 1 MTMD 試験体

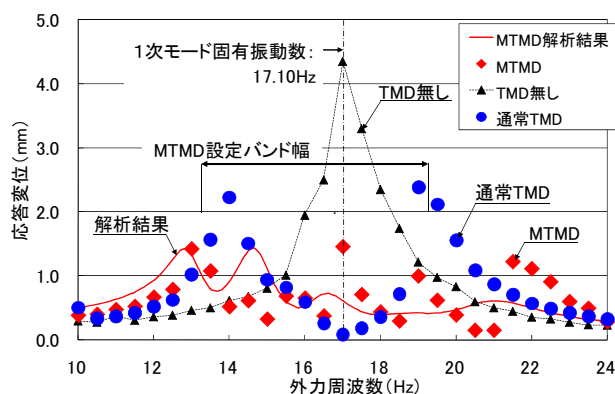


図 1 MTMD の周波数応答

図 2 には不規則励振に対する制振効果を確認するために、白色雑音を入力したときの加力時間内における応答変位の 2 乗平均値で比較する。MTMD の優れた制振性能が確認できる。

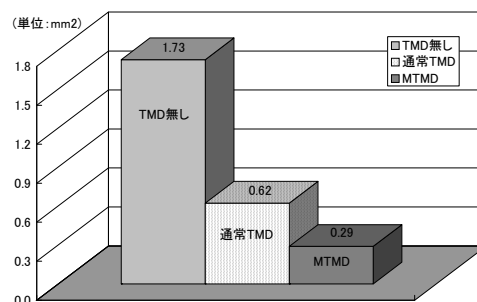


図 2 応答変位の 2 乗平均値の比較

本実験により MTMD 法がアーチ構造のような曲面状の大スパン構造においても十分に適用性があることが確認された。

(2) 振動台実験による MTMD 法のロバスト性の確認

構造物の固有振動数変動に対する MTMD 法のロバスト性を確認するために、アーチの 1 次モードの腹に錘を追加する簡単な方法でアーチの固有振動数を変化させ、制振効果の変化を調べた。制振効果の確認には白色雑音を入力して加力時間 30.0 秒間内における①応答変位の 2 乗平均値と②最大応答値を調べた。図 3 に①応答変位の 2 乗平均の変化を、図 4 に②最大応答値の変化を示す。

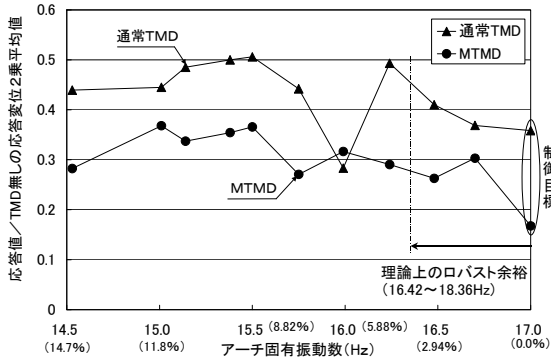


図 3 固有振動数の変動による応答変位 2 乗平均値の変化

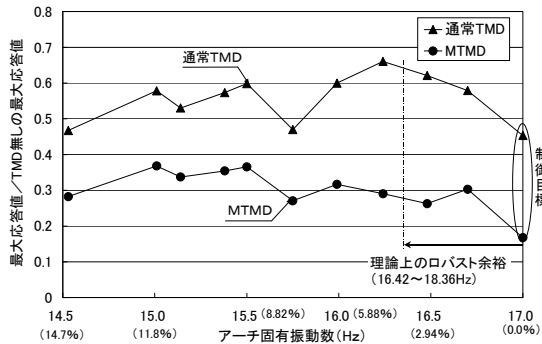


図 4 固有振動数の変動による最大応答値の変化

通常 TMD と MTMD とともに、制御目標振動数での制振効果が高い。通常 TMD の場合は目標振動数以外での制振効果のバラツキが大きい、MTMD はバラツキが小さく固有振動数変動に対するロバスト性が確認できた。

本研究では、入力は白色雑音 1 波のみであるが MTMD 法の固有振動数変動に対するロバスト性の傾向は確認できたと考えられる。

(3) 新しいロバスト制振システムの可能性の検討

前述のように、MTMD法は構造物の固有振動数変動に対するロバスト性の高い優れた制振手法であるが、地震力など非定常性の強い外力に対しては特に応答初期の制振効果に課題があることがこれまでの研究により分かっている。

そこで、制振効果が外力の特性に依存しないロバストな制振システムとして、TMD に初期変位を与える初期変位付与型 TMD を提案し、数値解析による検討を行った。インパルス応答を比較検討した結果、初期変位を適切に与えることにより、図 5 に示すように応答初期の制振効果が格段に向上することが分かった。

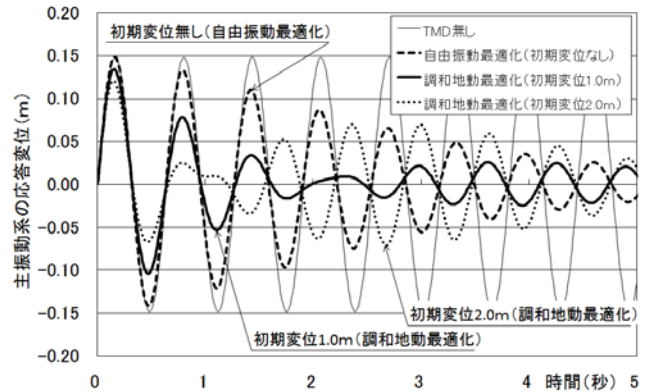
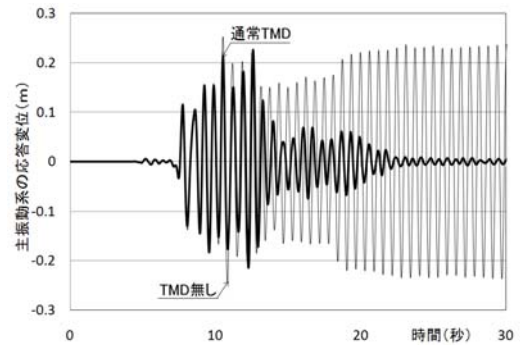


図 5 インパルス応答の比較

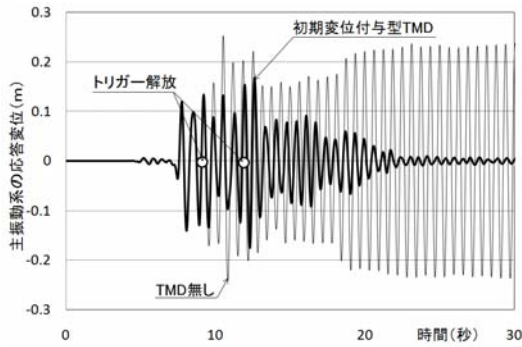
さらに初期変位の大きさに関する設計式を提案し、観測地震波に対する制振効果を確認した。図 6 に衝撃的で通常 TMD の制振効果が低い JMA Kobe 1995NS 波を入力したときの時刻歴応答曲線を比較する。提案した初期変位付与型 TMD の制振効果の高さが確認できる。

これらの研究成果は、平成 21 年度日本建築学会大会および構造系論文集等で発表する予定である。また初期変位付与型制振装置の機構や初期変位の与え方に関して特許の出願準備中である。



(a) 通常 TMD

図 6 観測地震波に対する制振効果の比較



(b) 初期変位付与型 TMD

図6 観測地震波に対する制振効果の比較

(4) 実構造物の固有振動数変動の調査
 提案した MTMD 法を用いたロバスト制振システムの有効性を確認するために実構造物の固有振動数変動に関する文献調査を実施した。文献は主として日本建築学会構造系論文集による。

1995 年兵庫県南部地震において杭の損傷を受けたある建物の固有周期の測定結果によると、杭の損傷により建物の支持条件が低下する結果、固有周期が健全な建物に比べて 1.3 ~ 1.7 倍に長くなることが分かった。健全な建物においても本震時においては固有周期が 1.6 倍以上に長くなることが分かった。

損傷と無関係な固有振動数の変動要因として振動振幅依存性があること。さらにコンクリート系構造物においては日照や外気温の変動と関係して、5%程度の固有振動数の日内変動があることが分かった。

これらの固有振動数変動は設計パラメーターの変動に対して敏感な一般の TMD においては制振効果に大きな影響を及ぼすことが予想され、MTMD 法の有効性が期待できる有益な情報を得ることができた。詳細な検討は今後実施する予定である。

(5) MTMD の設置によりモード形状の変化が大きい構造物に対する設計法の提案

本成果は、平成 19 年度繰越し期間における新たな成果に関するものである。

球殻状単層スペースフレーム構造のように MTMD の設置によるモード形状の変化が大きい構造物においては、構造物単体ではなく、MTMD-構造物の全体系におけるモード形状を考慮して MTMD の空間配置を決定する必要がある。そこで、MTMD

の設置によるモード形状の変化が大きい構造物における MTMD 設計法 (MTMD 分割法) を提案した。具体的には、すでに提案した制御モード成分の重ね合わせの最大振幅点に MTMD を配置しただけでは MTMD 設置位置における制振効果は高いものの構造全体の応答のバラツキが大きい場合において、MTMD の合計質量が一定の条件下で MTMD 設置後のモードの最大振幅点にもさらに MTMD を追加配置するものである。解析的検討を実施した結果、MTMD の分割数を増すに従い構造全体における制振効果が向上し、且つ応答のばらつきが小さくなる傾向があることを確認して、提案した手法の有効性を確認することができた。(図 8 参照)。

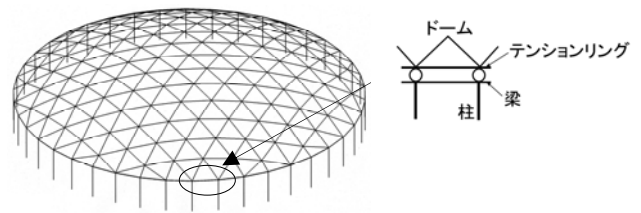


図7 解析対象モデル

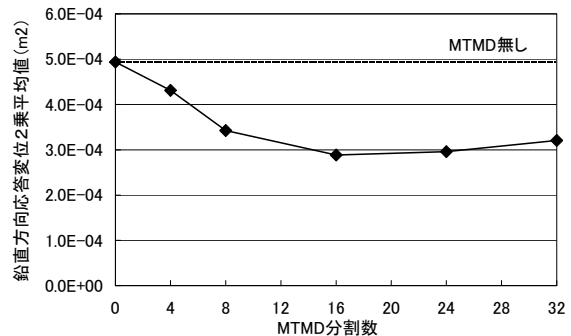


図8 エルセントロ 1940NS 波を入力したときの MTMD 分割数と制振効果の関係

(1) ~ (5) までに述べた研究により、MTMD 法の大スパン構造への適用性とロバスト性を実験的に確認し、さらに実構造物での有用性を確認することができた。さらに外力の特性に依存しない新しいロバスト制振システムを提案し、基本的な検討を行うことで、有効性を確認することができた。よって、当初の研究目的は達成することができたと考えられる。

今後は、MTMD を実際の建築構造物に設置して制振効果を確認するとともに、初期変位付与型 TMD の地震力に対する設計法に関して、さらに研究を進める予定である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計5件)

- ① Susumu YOSHINAKA and Ken'ichi KAWAGUCHI : Vibration Control of Spatial Structures using Spatially Distributed MTMDs, Memorirs of the Faculty of Engineering, Osaka City University, Vol.49, pp.19-28, 2008.12, 査読無し
- ② 吉中進, 川口健一: 分散型 MTMD による大スパン建築構造の振動制御に関する研究—MTMD 分割とその制振効果に関する考察—, 日本建築学会構造系論文集, 第 631 号, pp.1551-1559, 2008 年 9 月, 査読有り
- ③ 川口健一, 吉中進, 大塚彩, 片山慎一郎: 新潟県中越地震と同中越沖地震における大規模集客施設内部の非構造材(吊り天井)被害の比較, 日本建築学会技術報告集, 第 27 号, pp.73-78, 2008 年 6 月, 査読有り
- ④ 吉中進, 川口健一: ドーム状スペースフレーム構造における分散型 MTMD の制振効果, 鋼構造年次論文報告集, 第 15 巻, pp.499-506, 2007 年 11 月, 査読有り
- ⑤ 吉中進, 川口健一: 分散型 MTMD による大スパン建築構造の振動制御—アーチモデルを用いた振動台実験—, 日本建築学会構造系論文集, 第 621 号, pp.73-80, 2007 年 11 月, 査読有り

[学会発表] (計6件)

- ① 吉中進, 川口健一: 分散型 MTMD による空間構造の振動制御, —MTMD 分割とその制振効果—, 日本建築学会学術講演梗概集構造 I, pp.885-886, 2008 年 9 月, 広島大学
- ② 大矢俊治, 川口健一, 吉中進, 大塚彩, 片山慎一郎: 新潟県中越地震と同中越沖地震における大規模集客施設内部の吊り天井被害の比較, 日本建築学会学術講演梗概集構造 I, pp.815-816, 2008 年 9 月, 広島大学
- ③ Susumu YOSHINAKA and Ken'ichi KAWAGUCHI : VIBRATION CONTROL OF LARGE-SPAN ARCHITECTURAL STRUCTURES USING SPATIALLY DISTRIBUTED MTMDs, Proceedings of the 7th European Conference on Structural Dynamics, Southampton, UK, E21 (pp.1-11), 2008.7.
- ④ 吉中進, 川口健一: 分散型 MTMD による空間構造の振動制御, —アーチモデルを用いた振動台実験—, 日本建築学会学術講演梗概集構造 I, pp.789-790, 2007 年 8 月, 福岡大学
- ⑤ 大塚彩, 川口健一, 吉中進: 2007 年能登

半島地震における体育館施設の被害調査報告, 日本建築学会学術講演梗概集構造 I, pp.855-856, 2007 年 8 月, 福岡大学

- ⑥ 服部真子, 川口健一, 吉中進, 片山慎一郎: 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震時に発生した大型天井面の落下事故に関する基礎的考察, 日本建築学会学術講演梗概集構造 I, pp.857-858, 2007 年 8 月.

[その他]

本研究に関連して、以下の賞を受賞した。

- ① 平成 20 年度前田工学賞 (年間優秀博士論文賞)
- ② 日本建築学会奨励賞 (2008 年)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉中進 (YOSHINAKA SUSUMU)

大阪市立大学・大学院工学研究科・特任講師
研究者番号: 70401271