

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04361

研究課題名（和文）風力発電設備支持物の金属疲労抑制のための多点TMD制御

研究課題名（英文）Multiple TMDs control for metal fatigue suppression of wind turbine support structures

研究代表者

富澤 徹弥（Tomizawa, Tetusuya）

明治大学・理工学部・専任准教授

研究者番号：30774773

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,800,000円

研究成果の概要（和文）：風力発電設備支持物に発生する日常的な振動に対して、部材応力や疲労損傷度の低減を図ることを目的とした振動制御技術の開発を行い、以下の成果を得た。

実存する風力発電設備のタワー部に加速度センサーを設置し、タワー各点における応答加速度を計測した。取得したデータから、日常的な発電時の風速と、その風圧力により生じるタワー各点の加速度との関係性を明らかにした。計測した風力発電設備支持物の振動特性分析から解析モデルを構築し、TMDの質量や設置位置が、発電時の風外力により生じるタワーの応答に与える影響を明らかにし、効果的な振動低減のための多点TMD制御の方法について、質量比や配置の観点から明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

風力発電は再生可能エネルギーとして、急速に普及してきている一方で、経年劣化に伴うと考えられる故障や事故は増加傾向にあることも事実である。

風力発電設備支持物の事故のひとつに、タワーの倒壊やフランジボルトの破断があるが、その原因のひとつとして金属疲労による劣化が考えられている。風力発電設備は発電するためには風を受けて稼働する必要があり、これに伴いタワーは常に振動している状態にあるため、応力振幅や繰返し数が多い。風力発電設備の存在意義である発電により生じる日常的な振動を低減し、金属疲労による劣化をいかに抑制できるかが風力発電設備の構造安全性ならびに長寿命化に寄与するための重要な課題である。

研究成果の概要（英文）：In this study, vibration control techniques were developed to reduce member stresses and the degree of fatigue damage to daily vibrations occurring in wind turbine support structures. The results of this research are as follows.

(1) Acceleration sensors were installed in the tower of an existing wind power generation facility to measure the response acceleration at each point of the tower. (2) From the acquired data, the relationship between the wind speed during daily power generation and the vibration level (acceleration) at each point on the tower caused by the wind pressure was clarified. The vibration characteristics of the wind power generation support structures were analysed, and a time history response analysis model was constructed based on the actual measured values. The model was used to verify the vibration reduction effect of TMDs. These results clarify the possibility of utilising TMD control for wind power generation support structures.

研究分野：振動制御

キーワード：風力発電 風力発電設備支持物 制振 TMD 実測

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

風力発電は再生可能エネルギーとして、近年急速に普及してきている。国内の風力発電設備の導入が加速する一方で、その設置基数の増加にも伴い、経年劣化に伴うと考えられる故障や事故は増加傾向にあることもまた事実である。風力発電設備は火力発電所等とは異なり、発電所を構成する設備自体が屋外に設置されるために公共性が高く、人の出入りのない山の中に建設されることも多いが、国道沿いや公園内など、人の出入りがある場所に建設されている場合もあり、公衆安全のため、経年変化した風力発電設備の構造安全性の確保が不可欠である。

風力発電設備支持物の事故のひとつに、タワーの倒壊やフランジボルトの破断があるが、その原因のひとつとして金属疲労による劣化が考えられている。タワーのフランジ接合部は建築物等に採用される高力ボルト接合による場合が多く、ボルトおよびタワーなどの金属材料は S-N 曲線と呼ばれる応力振幅と繰返し回数の関係から疲労限度の評価を行うことが一般的である。しかし、風力発電設備は建築物とは異なり、発電するためには風を受けて稼働する必要があり、これに伴いタワーは常に振動している状態にあるため、建築物等と比較して応力振幅や繰返し数が格段に多く、自然環境条件が厳しい場合には劣化進行が早まることにつながる。風力発電設備の存在意義である発電により生じる日常的な振動を低減し、金属疲労による劣化をいかに抑制できるかが風力発電設備の構造安全性ならびに長寿命化に寄与するための重要な課題である。

### 2. 研究の目的

前述の背景から、経年変化による構造安全性の低下を引き起こす要因のひとつである風力発電設備支持物に使用される鋼材の金属疲労抑制を目的として、塔状工作物の風揺れ対策によく使われている TMD に着目し、設置スペースの限られる風力発電設備支持物に対し、多点 TMD を用いた応答制御方法について研究を行う。具体的には、以下の2点の解明を目的としている。

- ・ 実存する風力発電設備において、日常的な発電時の風速と、その風圧力により生じるタワー各点の振動レベル（加速度）との関係性を計測により調査し、明らかにする。
- ・ 風速により生じる風圧力を外力とし、時刻歴応答解析を用いて風力発電設備の日常的な振動に対する TMD の効果を解明する。

### 3. 研究の方法

本研究の目的を達成するために以下に示す3項目について実施する。

#### (1) 実存する風力発電設備における実測調査

実存する風力発電設備のタワー部において、加速度センサーを設置し、タワー各点における応答加速度を計測する。測定対象は、福岡県北九州市に建設されている風力発電設備支持物とする。なお、風速および風向は風力発電設備の SCADA データから取得し、時刻歴同期を図る。計測は天候に左右されるため、継続して行い、風向風速と、その際にタワー各部に生じている時刻歴応答加速度のデータを取得する。なお、劣化進行の評価のため、計測は同計測点において断続的に複数回行い、設備の健全性診断、余寿命評価に資するデータを取得することも目的とする。

#### (2) 取得データの振動特性の分析および時刻歴応答解析モデルの構築

(1) で取得したタワー頂部の風向風速、加速度データから、実存する風力発電設備において、日常的な発電時の風速と、その風圧力により生じるタワー各点の振動レベル（加速度）との関係性を明らかにする。また、計測対象とした風力発電設備支持物の振動特性を、取得した時刻歴応答加速度をスペクトル解析することで分析し、計測した風力発電設備支持物の固有振動数等を算出し、実測値を基にした時刻歴応答解析モデルを構築する。

#### (3) 時刻歴応答解析による TMD の振動低減効果の検証

構築したモデルにおいて、時刻歴応答解析を実施し、TMD による振動低減効果の検証を行う。風力発電設備支持物は、内部にスペースの余裕があまりないことから、1 箇所当たりの TMD の質量を小さくし、さらに多点配置による振動低減効果について検証する。具体的には、TMD の質量や設置位置が、発電時に生じるタワーの応答に与える影響について明らかにし、効果的な振動低減のための多点 TMD 制御の方法について、質量比や配置の観点から検証する。

### 4. 研究成果

#### (1) 実存する風力発電設備における実測調査

測定対象は北九州ひびき風力発電所で 2006 年より稼働している実存の風力発電設備である。当該設備の外観を写真 1 に、設備概要を表 1 に示す。定格出力は 1990kW、ブレード直径 80m、タワー高さ 67m、最高高さ 107m の設備である。風速 4m/s 以上で発電を開始し、風速 15m/s 以上で定格出力 1990kW となり、風速 25m/s でカットアウトする仕様となっている。タワー部の断面形状は中空円形断面、外径および板厚は、GL 側の基部において  $\phi 4038\text{mm}$ 、 $t34\text{mm}$ 、頂部において  $\phi 2314\text{mm}$ 、 $t14\text{mm}$  である。本計測では、タワー部の複数箇所に加速度計を設置し、各点における加速度を計測している。図 1 に加速度計の設置位置を示す。加速度計は計 4 台とし、主にタワーの継手フランジ付近のメンテナンスステージ周辺の側面、高さ方向としては GL-1.65m（基礎コンクリート上、以降「GL」とする）、GL+16.39m、40.15m、61.09m（ナセル直下のヨーフロア、以降それぞれ「GL16」「GL40」「GL61」とする）の位置に設置した。計測はインターバ

ル計測とし、毎時 00 分および 30 分から 5 分間の計測を行い、サンプリング周波数 200Hz、3 軸（法線、接線、鉛直）方向の加速度を取得している。また、既設の SCADA データから、発電量、風速、風向、ナセル角度等の 1 秒データを取得している。



写真 1 外観

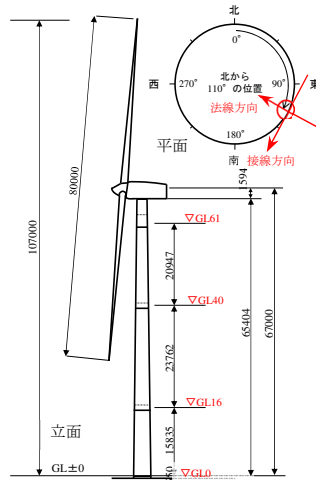


図 1 加速度計設置位置

表 1 設備概要

|              |                  |
|--------------|------------------|
| 所在地          | 福岡県北九州市<br>若松区響町 |
| 最高高さ         | 107m             |
| ハブ高さ         | 67m              |
| 構造種別         | 鋼構造              |
| 基礎種別         | 杭基礎              |
| 定格出力         | 1990kW           |
| カットイン<br>風速  | 4m/s             |
| カットアウト<br>風速 | 25m/s            |
| 定格風速         | 15m/s            |
| ロータ直径        | 80m              |

## (2) 取得データの振動特性の分析および時刻歴応答解析モデルの構築

### ①取得データの振動特性の分析

実測にて得られた加速度時刻歴波形の一例を図 2 に示す。図 2 では、当該設備の発電停止時（以降「停止時」）、年平均風速相当発電時（以降「平均時」）の 2 パターンの状態における時刻歴加速度を示し、代表として GL、GL61 を示している。それぞれの加速度波形において、停止時は発電を意図的に停止して 2021 年 11 月 26 日 9 時 30 分頃、平均時（年間平均風速 5.77m/s）は同年 12 月 6 日 0 時 30 分頃に観測されたものである。タワーは円形断面のため振動特性に方向性はないものの、風向により応答の大きさは異なるため、ここではいずれも法線方向の応答加速度波形を示している。停止時、平均時の各状態での風速と GL61 における加速度 RMS（Root Mean Square）値は、停止時：風速 3.3m/s で加速度 RMS 値 7.21gal、平均時：風速 5.2m/s で加速度 RMS 値 59.41gal であり、風速が大きくなるにつれてタワーに生じる加速度 RMS 値も大きくなる事が確認できる。停止時にもタワーに数 gal の加速度を記録しているが、これはブレードの回転によるものではなく、風向によりヨー旋回を行っているため、振動が生じているものと考えられる。ただし、平均時と比較するとその値は小さい。

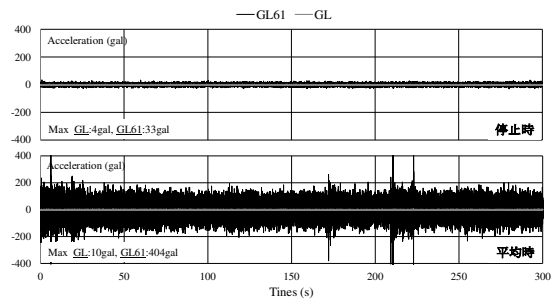


図 2 時刻歴応答加速度波形 (GL および GL61)

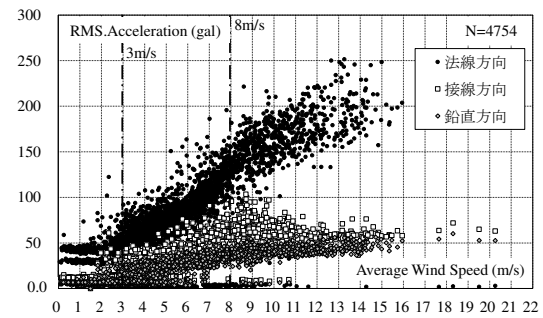


図 3 GL61m の平均風速と RMS 加速度の関係

研究実施期間中に計測された GL61 の法線方向、接線方向、鉛直方向の加速度と平均風速の関係を図 3 に示す。加速度 RMS 値は 5 分間データの RMS 値であり、風速は 5 分間データの平均値を示している（以下「平均風速」と呼ぶ）。図 3 より、法線方向と接線方向を比較すると、加速度 RMS 値は法線方向の方が大きい。これは風向の頻度が法線方向に沿った方向に多いためと考えられる。平均風速 3m/s 以下では風速によらず、加速度は各方向で概ね一定値となっているが、これはカットイン風速が 4m/s であることから、平均風速 3m/s 以下ではブレードが回転せず、回転振動の影響を受けにくいと考えられる。また、接線方向と鉛直方向においては平均風速 8m/s 以上で概ね一定値を取る傾向にある。これは平均風速 8m/s でロータ回転数が概ね最大値に達し、風速が増加しても出力制御機構として回転数を一定値で維持するため、ブレードの回転振動の影響が一定となり、加速度 RMS 値も一定となると考えられる。ただし、法線方向では平均風速 8m/s を超えても、平均風速とともに加速度 RMS 値が上昇する傾向が見取れ、風による影響を強く受けていると考えられる。

タワーの固有振動数を推定するため、図 4 に加速度時刻歴から求めたフーリエスペクトルを示す。図より、各状態（定格風速 15m/s 時も含む）において GL40、GL61 で 0.4Hz 付近が卓越していることから、これが 1 次固有振動数であると推定できる。また、GL40 および GL16 で 3Hz

付近の卓越が見られ、2次固有振動数と推定できる。平均時と定格時には1Hz付近でやや卓越が見られるが、停止時における卓越は小さいことから、1Hz付近における卓越は発電時におけるロータおよびブレード等の機械振動によるものと考えられる。また、GL61およびGL40のスペクトルを、それぞれGLのスペクトルで除した加速度伝達関数を図5に示す。図より、GL61では0.4Hz付近に、GL40では3Hz付近で卓越が見られ、後述する固有モード図から、それぞれ1次モード、2次モードにおける振幅の大きい位置に該当するため、伝達関数からも0.4Hz、3Hzがそれぞれ1次、2次の固有振動数と推定できる。

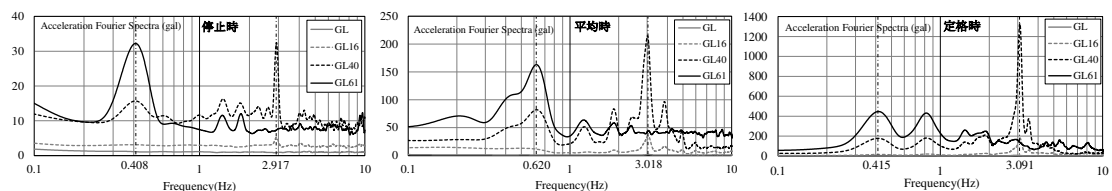


図4 加速度フーリエスペクトル

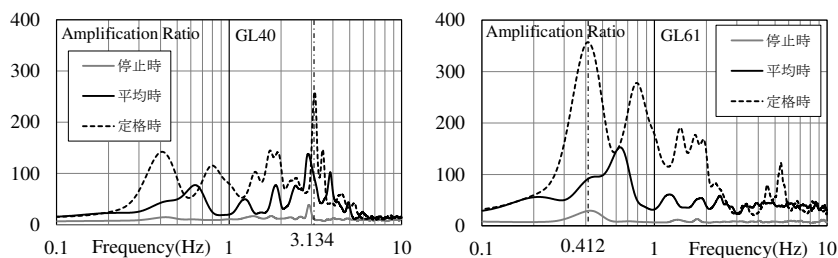


図5 加速度伝達関数

②時刻歴応答解析モデルの構築

実測結果を基に、対象としたタワーの振動解析モデルを構築した。振動解析モデルは、ブレードとナセル部分の重量を最上部の質点に集約した多質点モデルとして、各質点間の断面をもとに評価した曲げ剛性・せん断剛性を有する一本棒多質点曲げせん断モデルとする。質量および断面寸法は、当該設備の設計図書から得ている。日常的な振動レベルを対象としているため、基礎は固定とした。図6に固有モード図を示す。固有値解析結果によると、1次、2次固有振動数はそれぞれ0.42Hz、3.34Hzとなり、周波数分析から推定した固有振動数と概ね一致する。また、1年間の観測記録から任意の250データを抽出し、法線方向の加速度RMS値の高さ方向分布を示した結果を図7に示す。図より、タワーの高さ位置が大きくなるほど加速度RMS値も大きくなり、平均値の高さ方向分布は図6に示す1次モードと形状が類似している。稀に中間部の加速度RMS値がGL61より大きい場合もあるが、これらは2次モードの形状と考えられ、1年を通して4.5%程度の頻度である。

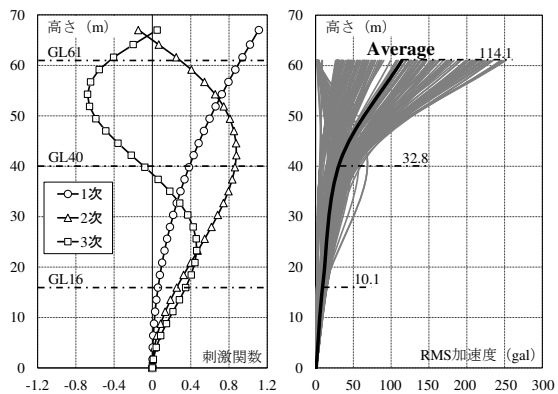


図6 固有モード 図7 加速度高さ分布

(3)時刻歴応答解析によるTMDの振動低減効果の検証

①TMD設置位置

ここでは、TMDの軽量化およびタワー頂部での省スペース化を狙いとしてTMDを複数配置した場合(多重TMD)の制振効果を検証する。比較のため、複数配置による多重TMDに加え、単一TMDを頂部に配置した場合、タワー中間部に配置した場合についてもそれぞれ解析を行い、その効果について考察する。具体的には、1次および2次モードにおいて振幅の大きいGL+64m、42m(以降それぞれ「GL64」「GL42」)位置に設置する。なお、実存設備では、多重TMDはメンテナンスステージ位置に設置することを想定している。

②TMD諸元値の設定

TMDの諸元値の設定にあたり、まず質量比 $\mu$ を設定する。質量比 $\mu$ は多重TMDを想定した既往研究の適用条件から、1次モードの有効質量に対して4%として設定する。一般に、風揺れ対策として建築物に採用されるTMDの場合の質量比は0.5~2.0%程度が多いが、風力発電設備は建築物に比べて、仕上げや積載荷重がなく、質量の構成要素のほとんどは構造躯体である。また、タワー一部を除く頂部質量は125tであり、TMD質量自体による長期的な質量増は

$$\gamma_1 = \frac{1}{2.48}(\mu + 0.13)^{-0.434} \quad (1)$$

$$\gamma_2 = -0.72\mu + 1.04 \quad (2)$$

$$\zeta_1 = \left(\frac{\mu}{45}\right)^{0.07} - 0.505 \quad (3)$$

$$\zeta_2 = \left(\frac{\mu}{5}\right)^{0.377} - 0.038 \quad (4)$$

4.5%程度である。次に、総質量比を4%として、単一 TMD および多重 TMD の最適同調および最適減衰の条件から、それぞれの TMD の剛性  $k$  および減衰係数  $c$  を決定する。単一 TMD については定点理論を用い、多重 TMD については前述の既往研究を基に諸元値を決定する。既往研究より、総質量比  $\mu$  を用いて 2 つの複合 TMD を用いる場合の最適同調比  $\gamma_1, \gamma_2$  と最適減衰比  $\zeta_1, \zeta_2$  は、それぞれ式(1)から式(4)で表される。これらを用いて、1 次モードを対象として求めた諸元値を表 2 に示す。

表 2 単一 TMD および多重 TMD の諸元

|        | 設置位置        | 質量比 | 質量 (t) | 剛性 (kN/m) | 粘性減衰係数 (kN・s/m) |
|--------|-------------|-----|--------|-----------|-----------------|
| 単一 TMD | GL64 / GL42 | 4%  | 5.6    | 36.9      | 3.4             |
| 多重 TMD | GL64        | 2%  | 2.8    | 16.2      | 1.0             |
|        | GL42        | 2%  | 2.8    | 20.2      | 1.3             |

### ③多重 TMD による応答低減効果

1 次モードの有効質量に対する総質量比を 4%として、単一 TMD を GL64 に設置した場合、単一 TMD を GL42 に設置した場合、総質量比 4%を 2%ずつに等分割して GL64, GL42 に多重 TMD として設置した場合、それぞれの場合における応答低減効果について考察する。なお、時刻歴応答解析に用いる外力はそれぞれの風速時の GL61 における観測記録（時刻歴加速度）を解析モデルの最上部の質点に作用させている。停止時、平均時、定格時それぞれの状態における頂部の時刻歴応答変位を図 8～10 に示す。

停止時における場合、図 8 より、単一 TMD を頂部付近に設置した場合の応答低減が最も大きく、応答変位では 30%を超える応答低減効果が見られる。一方、多重 TMD では頂部付近設置の単一 TMD には劣るものの、30%弱の応答低減効果が見込める。また、TMD のストロークに着目すると、頂部単一 TMD では 27mm、多重 TMD では GL64 が 47mm、GL42 が 18mm となり、多重 TMD では GL64 位置の質量が小さくなるため、ストロークが大きくなるものの、GL64 位置の質量が半減しても GL42 位置に多重配置することにより、頂部付近設置の単一 TMD とほぼ同等の応答低減効果が得られている。

次に、平均時の場合について考察する。風力発電設備の日常的な振動は、年平均風速程度での風応答による頻度が最も高く、本研究において最も低減効果を重視したい応答レベルである。図 9 より、応答変位については、タワー中間部単一 TMD で最大値は 33%程度の低減効果が見られる。さらに、頂部単一 TMD と多重 TMD では最大値で 40%弱の応答低減が見られ、平均時において大きな制振効果が期待できる。また、多重 TMD では、頂部 TMD の質量が頂部単一の場合の半分であるにも関わらず、ほぼ同等の応答低減効果を発揮していることが確認できる。TMD のストロークについては、頂部単一 TMD で 163mm、タワー中間部単一 TMD で 110mm、多重 TMD で GL64 が 247mm、GL42 が 87mm となり、外力レベルが大きくなることで、停止時に比べてストロークが大きくなるものの、タワー内のスペースに十分納まる範囲である。

最後に、定格時の場合について考察する。定格出力となる 15m/s を超える風速となる頻度から算出される発生確率は 1%未満と、非常に小さい。図 10 より応答変位については、停止時と同様に、頂部単一 TMD の応答低減が最も大きく、最大値で 65%程度の応答低減効果が見られる。一方、多重 TMD では頂部単一 TMD より劣るものの、最大値で 60%弱の応答低減効果が確認できる。ただし、TMD のストロークは、頂部単一 TMD で 1277mm、多重 TMD で GL64 が 2047mm、GL42 が 708mm となり、上記の応答低減効果を得るには非常に大きなストロークが必要となる。本タワーにおける GL64 および GL42 位置では、タワー外径から考えられる許容ストロークはそれぞれ 800mm および 900mm 程度であり、総質量比 4%とした検討ではストロークがオーバーしている。これを許容ストローク程度まで抑えると仮定すると、主に頂部付近の GL64 に質量比 8%程度の質量が必要となり、この場合も TMD 質量自体による長期的な質量増は 9%程度と決して大きなものではないが、多重 TMD により、比較的ストロークに余裕のあるタワー中間部へ効果的な質量分配を行うなど、設計により工夫できる点も考えられる。

計測は 2021 年 11 月から開始し、本研究終了時点で概ね 2 年 5 ヶ月のデータを蓄積している。風力発電設備の一般的な設計供用期間は 20 年であり、20 年を経過した場合には性能を再評価することとなっている。現在、風力発電設備は定期検査が義務付けられているものの、金属疲労の評価は定期検査における目視等で判断することは極めて難しい。本研究における継続的な計測により、タワーの健全性および余寿命評価に資するデータの蓄積となることが期待される。

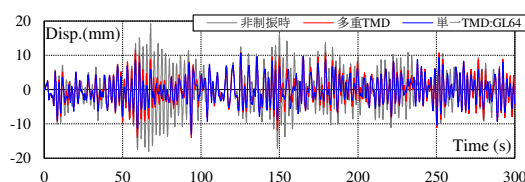


図 8 停止時における頂部応答変位

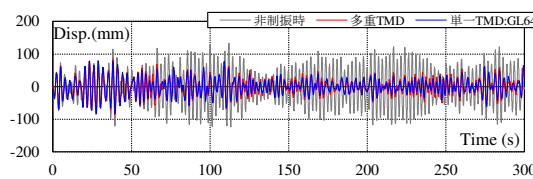


図 9 平均時における頂部応答変位

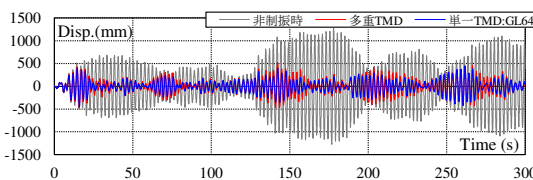


図 10 定格時における頂部応答変位

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>TOMIZAWA Tetsuya, MATSUNAMI Kana, BABA Atsushi   | 4. 巻<br>29          |
| 2. 論文標題<br>A STUDY ON RESPONSE REDUCTION EFFICACY OF MULTIPLE TMDs BASED ON MEASURED WIND LOAD ON WIND POWER GENERATION EQUIPMENT SUPPORTS | 5. 発行年<br>2023年     |
| 3. 雑誌名<br>AIJ Journal of Technology and Design   | 6. 最初と最後の頁<br>91～96 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.3130/aijt.29.91  | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）  | 国際共著<br>-           |

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>松浪加奈，富澤徹弥                                      |
| 2. 発表標題<br>風力発電設備支持物の実測に基づく振動制御に関する研究：その6多重TMDが制振効果に与える影響 |
| 3. 学会等名<br>2023年度日本建築学会大会（近畿）学術講演会                        |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>富澤徹弥，正月俊行，藤下和浩，松浪加奈，高橋俊太           |
| 2. 発表標題<br>風力発電設備支持物の実測に基づく振動制御に関する研究：その1計測概要 |
| 3. 学会等名<br>2022年度日本建築学会大会（北海道）学術講演会           |
| 4. 発表年<br>2022年                               |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>馬場淳，富澤徹弥，松浪加奈，正月俊行，藤下和浩，高橋俊太，堀口真成    |
| 2. 発表標題<br>風力発電設備支持物の実測に基づく振動制御に関する研究：その2計測結果概要 |
| 3. 学会等名<br>2022年度日本建築学会大会（北海道）学術講演会             |
| 4. 発表年<br>2022年                                 |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>松浪加奈, 富澤徹弥, 馬場淳                          |
| 2. 発表標題<br>風力発電設備支持物の実測に基づく振動制御に関する研究：その3TMD装置の制振効果 |
| 3. 学会等名<br>2022年度日本建築学会大会（北海道）学術講演会                 |
| 4. 発表年<br>2022年                                     |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>高橋俊太, 富澤徹弥, 松浪加奈  |
| 2. 発表標題<br>風力発電設備支持物のマスダンパーによる応答制御に関する研究 - 構造体の質量分布が応答制御効果に与える影響 - |
| 3. 学会等名<br>2022年度日本建築学会大会（北海道）学術講演会                                |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>松浪加奈, 富澤徹弥                                     |
| 2. 発表標題<br>風力発電設備支持物の実測に基づく振動制御に関する研究：その6多重TMDが制振効果に与える影響 |
| 3. 学会等名<br>2023年度日本建築学会大会（近畿）学術講演会                        |
| 4. 発表年<br>2023年   |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

|   |
|---|
| <p>日本建築学会技術報告集に掲載されました！（風力発電設備支持物）<br/> <a href="https://kenchiku-kozo1004.site/publication2022-2/">https://kenchiku-kozo1004.site/publication2022-2/</a><br/>         風車実測in北九州<br/> <a href="https://kenchiku-kozo1004.site/experiment2021-windmill/">https://kenchiku-kozo1004.site/experiment2021-windmill/</a></p> |
|---|

6. 研究組織

|  |                           |                       |    |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|  | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

|         |         |
|---------|---------|
| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|