

中央大学 ○学生会員 高橋 多佳子

中央大学 正会員 平野 廣和

中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

自然エネルギーの見直しから、風力発電装置が各所で建設されるに至っている。これは、煙突や架設時の吊り橋主塔などと同じ独立塔状構造物であると考えられる。このような鈍い断面形状をした塔状構造物では、周期的に放出されるカルマン渦列による渦励振や、風の息継ぎに代表されるガスト応答による振動などがその諸元決定に大きな影響を与える。よって風力発電装置は、この渦励振や風のガスト応答等により風車のタワー部分が繰り返し振動を受けることになる。しかし、現状での風力発電装置の設計方法では、静的な風荷重のみで検討されており、これらの振動が考慮されておらず、今後、風車の大型化に伴って風に起因する種々の問題を生じる可能性が高い。

そこで本研究では、振動を極力抑えるために、小さなスペースで大きな制振効果の得られる転動式制振装置¹⁾(Tuned Rotary-Mass Damper: 以下、TRMD)に着目して、独立塔構造物の振動制御効果を確認すると共に装置の実用性について考察するものである。

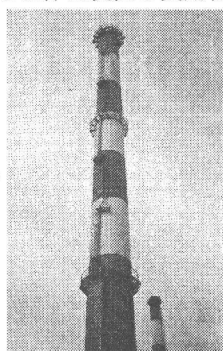


図-1 鋼製煙突

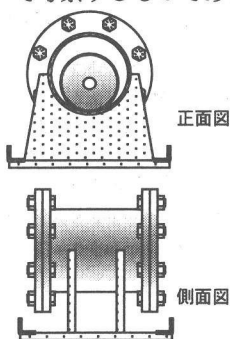


図-2 TRMD

表-1 鋼製煙突諸元

質量 m_1	51400 kg
剛性 k_1	995104 kg/s ²
減衰係数 c_1	0.005 kg s/cm

解析の対象とする塔状構造物として大型自立型鋼製煙突(図-1)の諸元²⁾を使用する。なお、ここで鋼製煙突を用いたのは、風力発電装置では塔の諸元が十分に公開されていないので、最も近いと思われる構造を選んだ。本研究では、これを基にTRMDの設計を行い、数値解析を行った。

2. TRMDの設計

表-1に大型自立型鋼製煙突の諸元を示す。外力として一方向からの風によるカルマン渦励振、すなわち風方向に対して鉛直方向の揺れを想定してTRMDを設置する。

TRMDのようなパッシブタイプの制振装置は構造物の振動エネルギーを消散させることが基本である。

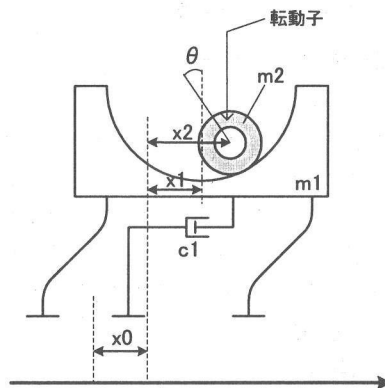


図-3 TRMD+構造物

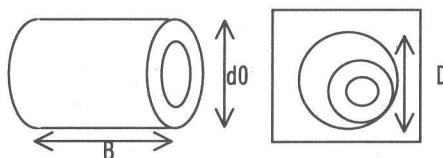


図-4 TRMD

消散エネルギーを大きくするためには、構造物の振動に伴う制振装置の振動応答を大きくすることが必要であり、それには構造物の振動と共振するように制振装置の固有振動数を設計することである。

TRMD は転動する回転子と（転動子）とそれを受ける円弧の容器（外殻）から構成されたもので（図-2）、転動子が外殻の円弧に沿って振動し構造物の揺れと同調して制振効果をもたらす。解析モデルを図-3に示す。これらのことより TRMD は装置の固有振動数を構造物のそれと一致するように設計する事にする。

TRMD の固有振動数には、 θ が微小であると考え、固有振動数：式 (1) を適用する³⁾これと構造物の固有振動数：式 (2) より有効半径： l （式 (3)）が求まる。

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

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_i}{m_i}} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$l = \frac{D-d0}{2} \quad \dots\dots\dots(3)$$

転動子の質量は、構造物との質量比 5%³⁾を採用し、これより求めた。転動子の主成分は鉄（ $\rho=7.86e-3$ [kg/cm³]）であると想定する。仮に $B=100$ [cm] とすると、 $d0=64.5$ [cm] であり、有効半径から $D=132$ [cm] となる。最終的には、装置の幅と高さの兼ね合いより安定性を考えて、 $B=120$ cm、 $D=126.4$ [cm] とした。（表-2）この諸元で数値解析を行う。

表-2 数値解析諸元

質量 m_1	51400 kg
TRMD質量 m_2	2570 kg
剛性 k_1	995104 kg/s ²
D	126.4 cm
$d0$	58.9 cm
dl	0 cm
減衰係数 c_1	0.005 kg s/cm
TRMD減衰係数 c_2	0.005 kg s/cm

3. 振動解析

数値解析のモデルは図-3 に示すような 1 自由度系せん断型ラーメン構造とした。解析には 4 次のルンゲ・クッタ法を用い、時間間隔は 0.005[sec]とし、加振力として正弦波を与えた。

外力の各固有振動数による構造物の振動の最大値を、TRMD 作動時と非作動時において示したグラフを図-5 示す。グラフより、構造物と外力の共振時には TRMD を付けたことにより 1/12 まで変位は減少している。全体的に見ても、それぞれの場合の最大値は 1/4 まで落ちている事が分かる。

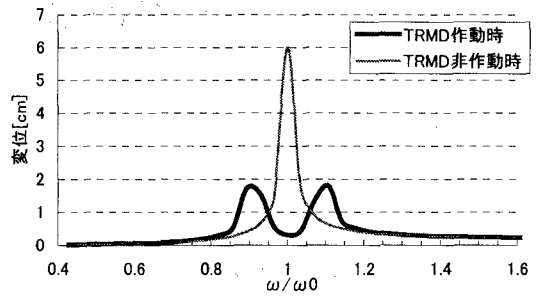


図-5 外力の各周波数ごとの最大変位

4. TRMD の実用性

この装置の特徴として次の 3 つがあげられる。(1) 回転子と円弧容器の直径を変えることで、2 次 3 次等の高次固有振動数に容易に対応できる。(2) 回転子が回転することで、慣性質量も運動エネルギー式に加えられることから、回転子の質量を従来の振動装置よりも小さく出来る。(3) 回転子が振動する揺れ幅の変化により、装置の固有振動数が変化し、制振装置と構造物が同調しやすくなっている。

(2)の点を考えると、2 節で設計された TRMD は、実際の鋼製煙突に TMD (L1680×W494×H800mm) が 4 台取り付けられている事から、小型である事が分かる。また、数値解析の結果、転動子の最大振れ角は $\theta_{max}=4.4^\circ$ であることがわかっている。このことから 2 節では外殻を円にしたが、半円でも可能であり、さらなる小型化を図れる。また、製作に規格に沿った鋼管等を使用すれば低コストでできる。これらのことより、TRMD の実用性については有効であると言える。

5. おわりに

今回の結果から塔状構造物の制振対策として TRMD を使用することは十分可能であることが分かった。今後はガスト応答等による風の向きに対して水平方向への振動に対応するため、複数の TRMD の設置について検討したい。最後に、東海大学島崎教授ならびに研究室の方々から貴重な助言を頂いた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 佐伯秀, 島崎洋治: 転動型制振装置をつけた 1 自由度ラーメン構造模型の正弦波外力応答に関する実験とその解析, 東海大学紀要工学部 Vol.39, No.1, 1999, pp.143-146
- 2) 三井造船技報, 平成 11 年 2 月, 第 166 号, p.44
- 3) 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, 2001/3