

一筒身鉄塔支持型煙突の空力振動

徳島大学大学院 学生会員 ○中村 大地
フェロー 長尾 文明

1. はじめに

大規模火力発電所の煙突は、アスペクト比が大きいため、相対的に固有振動数や減衰定数が小さくなり、渦励振、空力不安定振動等により激しく振動する。この振動は疲労の原因となり、コスト面から見て悪影響が出るため制振しなければならない。本研究では三次元弾性模型を用いて、風向角、気流、近接煙突の有無などの条件を変化させることで、一筒身鉄塔支持型煙突の空力特性を確認することを目的としている。

2. 実験概要

今回研究対象とする煙突は、高さ180mの一筒身鉄塔支持型煙突である。実験は図1に示す縮尺 1/150 の三次元弾性模型を用いて徳島大学多機能境界層風洞試験装置(200 型風洞)にて行う。また、相似則を用いて、模型の検討風速 6.16m/s、質量 0.461kg、1 次固有振動数 4.50Hz、2 次固有振動数 16.0Hz、減衰定数 0.17%とした。実験に用いる気流は一様流、海からの風に相当する乱流境界層粗度区分Ⅰ、田園など平坦な地形に作用する風に相当する乱流境界層粗度区分Ⅱとした。これらをそれぞれU、S1、S2と示す。また、対象煙突から約88m離れた位置に高さ200mの多脚型煙突(図2)が既設されており、この既設煙突が上流側に存在することによる後流の及ぼす影響を確認する実験も実施した。計測方法としては、頭頂部の応答をレーザー変位計により計測し(図3参照)、ペンレコーダーを用いて記録した。また、渦励振による応答が確認されたため、シリコンオイルを用いたオイルダンパーを設置し、減衰定数を0.17%から1.5%まで増加させることによって制振を試みた(図4参照)。またここでは主流方向をX方向、主流直行方向をY方向と示す。風向角の定義を図5に示す。



図-2 既設煙突模型

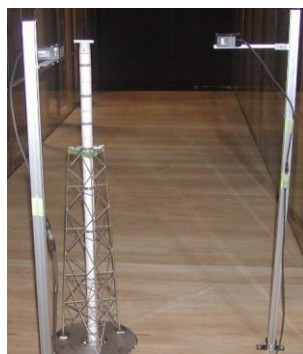


図-3 計測方法



図-4 オイルダンパー

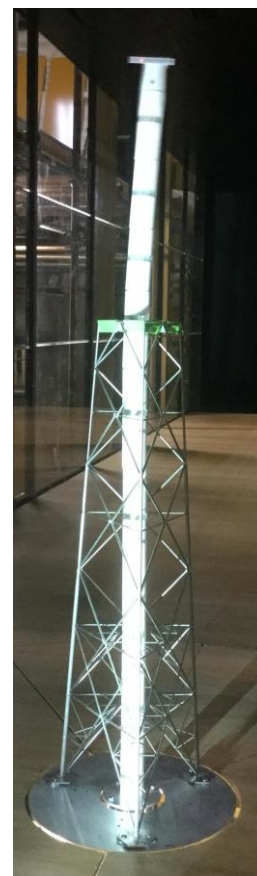


図-1 実験模型

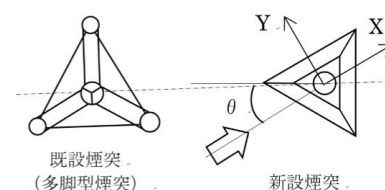


図-5 風向角

3. 一筒身鉄塔支持型の空力特性

以下に示す応答図は全て縦軸に倍振幅 $2A/D$ 、横軸に実機風速 $U_p(m/s)$ を示している。また、図の破線は実機検討風速 83.9m/sを示している。

- (1) 風洞気流の応答特性に及ぼす影響：風洞気流別のY方向の応答図を図6に示す。図6より、低風速側、高風速側どちらもU、S1、S2の順に最大応答の生じる風速、最大応答と最小応答の差が大きくなっていることがわかる。特に高風速側で顕著に表れている。これは、塔頂部の風速は全て同じであるが、風速の鉛直分布の勾配がU、S1、S2の順に大きくなり(図7参照)、渦励振応答が塔頂部の風速で生じるのではなく、煙突全体に作用する風速を考慮する必要があることを意味している。また、この順で乱れ強さが大きくなり、乱れ強さが大きくなると

風速の変動域とともに応答の変動域も広がるため最大応答と最小応答の差が大きくなる。

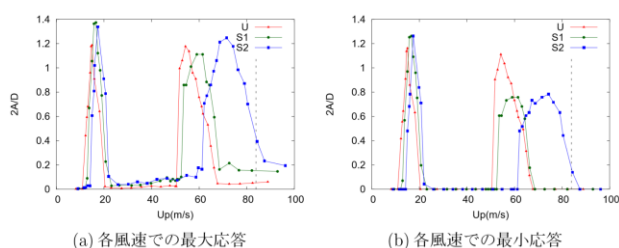


図-6 風洞気流別の Y 方向応答図

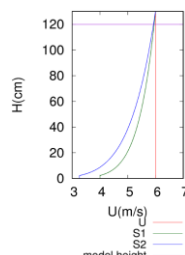


図-7 風速鉛直分布

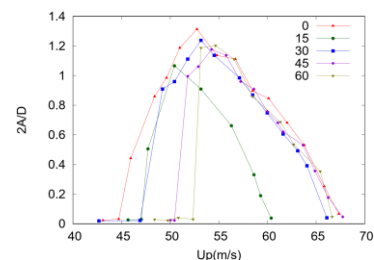


図-8 風向角別の Y 方向応答図

- (2) 一様流における風向角の応答特性に及ぼす影響: 図 8 に U における Y 方向の応答図を示す。今回は 1 次(応答図中低風速側)の応答が不具合により計測できなかったため、2 次(応答図中高風速側)のみのデータを使用している。なお、グラフの凡例の 0、15、30、45、60 はそれぞれ風向角を示している。図 8 より、振幅に関しては風向角 0 度が一番大きく、渦励振開始風速に関しては、風向角 0 度、15 度、30 度、45 度、60 度の順に高くなっていることが分かる。これは風向角によって鉄塔の頂点の位置が変わるため、それによって鉄塔の風への乱れの与え方が変わることが理由として挙げられる。図 5 を参照にすると風向角 0 度の時は、鉄塔の頂点部分が筒身の前にあるが、風向角が大きくなるにつれて頂点部分がずれていき、風向角 60 度の時は辺の部分が筒身の前に来る事が分かる。これにより、頂点部分で風が渦を作り、その渦によって実際に揺れるはずの風速より低い風速で揺れてしまうことが推測できる。
- (3) 既設煙突が新設煙突の応答特性に及ぼす影響: 図 9 に Y 方向の 2 次(応答図中高風速側)の応答の最大値を風洞気流別、風向角別にプロットしたものを示す。図中の横軸は風洞気流、既設煙突の有無、風向角を示しており、W3 は既設煙突を設置した状態を示している。結果として、上流側から見て新設煙突の手前側に既設煙突がある時に応答が他ケースと比較して小さくなっていることが分かる。また、この応答は定常振幅でなかったため(図 10 参照)、渦励振は発生していなかったといえる。また、既設煙突が無い時と比べ、有る時は応答が小さくなることはあるが大きくなることは無かった。また、W3 の 5 度、-5 度の時に応答が大きくなっている原因としては、既設煙突後流に発生した渦により、揚力が働くことが推測できる。

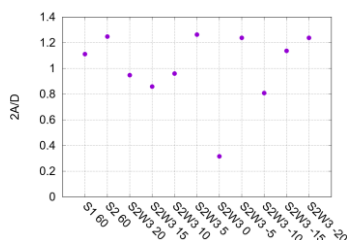


図-9 既設煙突の有無による Y 方向 2 次最大応答への影響

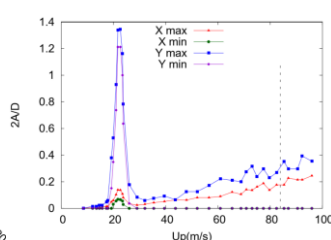
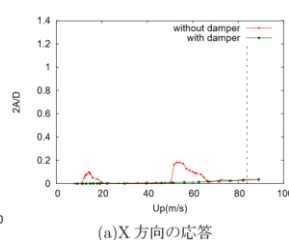
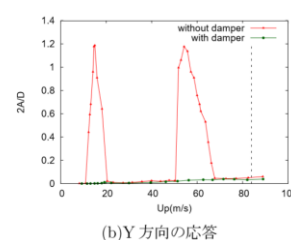


図-10 S2W30 での応答



(a) X 方向の応答



(b) Y 方向の応答

図-11 U におけるオイルダンパーの効果

- (4) オイルダンパーの制振効果: 図 11 に U の応答図を示す。なお、グラフの凡例はそれぞれオイルダンパーの有無を示している。図 11 より、オイルダンパーによる制振効果が確認された。

4. まとめ

今回の実験で全ての風洞気流、風向角で渦励振が確認され、オイルダンパーを用いることによって、渦励振応答が制振されることが確認できた。また、乱れが大きくなるにつれて最大応答の生じる風速、最大応答と最小応答の差が大きくなること、風向角によって応答の大きさが変化することが確認された。既設煙突が新設煙突の応答特性に及ぼす影響として、応答を減少させることはあるが増大させることは無いこと、少し風向角が変わるだけでも応答が大きくなってしまったことが分かった。また、風向角の違いと既設煙突の有無による応答の考察についてはあくまで推測であるため、風速分布の調査や流れの可視化などさらなる検討が必要である。