

三次元一筒身煙突模型による上流煙突が下流煙突の空力振動に及ぼす影響

徳島大学大学院 学生会員 ○志摩篤彦

徳島大学大学院 学生会員 中村大地

徳島大学大学院 フェロー 長尾文明

1. はじめに

一般に煙突はアスペクト比の大きい構造物のため、固有周波数や減衰定数が小さくなり、渦励振などで激しい振動が起こりやすくなる。この振動に耐えても疲労の原因になり、補修などのコストがかか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一筒身煙突を用い、その上流に剛体の同型煙突を配置し、煙突同士の距離や風向角を変えることでどのような影響が対象煙突の空力振動に及ぶのか、また、その原因を確かめることを目的とする。

2. 実験方法

今回研究対象とする煙突は、高さ180mの一筒身煙突である。実験は写真1の縮尺1/150で全長1.2mの三次元弾性模型を用いて、徳島大学多機能境界層風洞装置(200型風洞)で行う。また、相似則を用いて模型の検討風速6.16m/s、質量0.461kg、固有振動数4.50Hz、減衰定数0.17%とし、気流区分は乱流境界層粗度区分Ⅱとした。

対象煙突の上流に配置する煙突は実機で高さ180m、縮尺により全長は1.2mである。この上流煙突が風向角や煙突同士の距離を変えることによる対象煙突の空力振動への影響を、レーザー変位計によって確かめる実験をした。

確認された影響が顕著に現れた上流煙突の位置で、X型熱線風速計を用いて風の乱れや風速分布を求め、上流煙突が後流に及ぼした影響を確かめた。

ここで風主流方向をX方向、風主流直交方向をY方向とする。

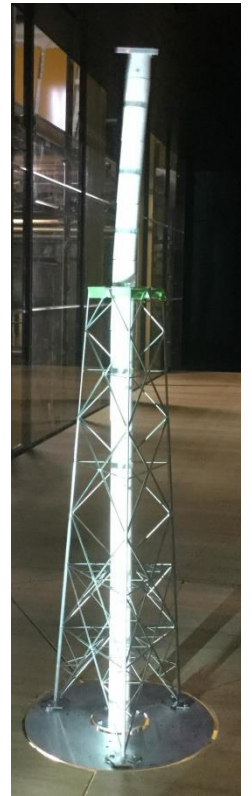


写真1 実験模型

3. 上流煙突が下流煙突に及ぼす影響

風向角 θ 及び煙突間の距離 x 、方角の定義を図1に示す。また、実験ケースを表1に示す。

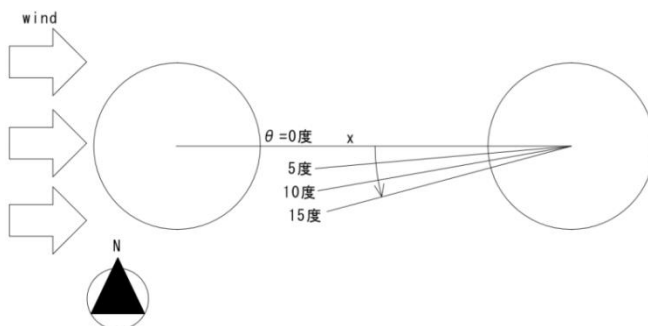


図1 風向角 θ 、距離 x 、方角の定義

表1 実験ケース

ケース名	隣接煙突の有無	実験風向	煙突間距離/筒身径
V1	無(レーザー式変位計)	-	-
V2	有(レーザー式変位計)	$\theta = 0$ 度	$x/D = 5.6, 7.4, 14.8, 18.5, 20.3, 22.2, 24.1$
V3	有(レーザー式変位計)	$\theta = 5$ 度	$x/D = 7.4, 9.3, 11.1, 13.0, 14.8$
V4	有(レーザー式変位計)	$\theta = 10$ 度	$x/D = 5.6, 7.4, 11.1, 13.0, 14.8, 16.7, 18.5, 20.3$
V5	有(レーザー式変位計)	$\theta = 15$ 度	$x/D = 5.6, 7.4, 14.8, 16.7$
V1'	無(X型熱線風速計)	-	-
V2'	有(X型熱線風速計)	$\theta = 0$ 度	$x/D = 7.4, 18.5$
V3'	有(X型熱線風速計)	$\theta = 5$ 度	$x/D = 11.1$
V4'	有(X型熱線風速計)	$\theta = 10$ 度	$x/D = 5.6, 7.4$
V5'	有(X型熱線風速計)	$\theta = 15$ 度	$x/D = 5.6, 7.4$

以下に示す応答図は縦軸に振幅の標準偏差(m)、横軸に実機風速 U_p (m/s)を、最大標準偏差の割合図は縦軸にV1とV2～V5の標準偏差の割合、横軸に無次元距離 x/D を、変動風速の標準偏差を表した図は縦軸に実機高さ H_p (m)、横軸に無次元の風速の標準偏差を、風速分布は縦軸に実機高さ H_p (m)、横軸に実機風速 U_p (m/s)を示している。

(1) 上流煙突による下流煙突の応答に及ぼす影響

ここでは、上流煙突が対象煙突の応答特性に及ぼす影響について、ケース V1～V5 を用いて明らかにする。図 2 は V1 の風速-応答図で、この図から一筒身煙突で最も振幅が大きく現れるのは Y 方向の 2 次振幅であることが分かる。このことから、本研究では Y 方向 2 次振幅について考察していく。

図 3 は Y 方向 2 次振幅の割合図である。この図において、応答振幅は割合 1 より大きいと V1 より大きいことを、小さいと V1 より小さいことを表している。この図から風向角が 0 度 (V2) で距離が短いときは、上流煙突が風除けの役割を担い、応答振幅が小さくなっていることが分かる。しかし、それ以外ではほとんどが大きくなっており、振幅が大きくなりやすい。ここで V1, V2- $x/D=7.4$, V4- $x/D=7.4$ での影響が顕著であるため、この影響について考察していく。

図 4 は V1, V2- $x/D=7.4$, V4- $x/D=7.4$ の Y 方向風速-応答曲線である。図 3 の通り、振幅の標準偏差が V1 に比べ V2 は小さく 2 次振幅が発現しなくなっており、V4 は大きくなっている。

(2) 応答変化の要因

ここでは、前項で現れた上流煙突による振幅に及ぼす影響の原因について、ケース V1', V2', V4' を用いて確認する。図 5 は、実機風速 59.5m/s, 風洞中央位置での V1', V2' - $x/D=7.4$, V4' - $x/D=7.4$ の変動風速の標準偏差図である。この図から、V1' と比べ V2', V4' どちらも風の乱れが発生し、 $H_p=150\text{m}$ のとき乱れが最大になっていることが分かる。また、V2' は X 方向の乱れが非常に大きくなっており、V4' は Y 方向の乱れが X 方向に近づくようになっていく。つまり、比較的に X 方向の乱れが大きくなるとき振幅が小さくなり、Y 方向の乱れが大きくなるとき振幅が大きくなるといえる。

図 6 は実機風速 59.5m/s, 風洞中央位置での V1', V2' - $x/D=7.4$, V4' - $x/D=7.4$ の風速分布図である。この図から、平均風速にはあまり影響がなく、図 5 から上流煙突の影響の原因は風の乱れであるといえる。

4. まとめ

上流煙突による後流に及ぼす影響は確認でき、変動風速の大きな乱れが下流煙突の応答変化に及ぼす影響の原因だと判明した。風向角 0 度で煙突間距離が短いときは制振されるが、それ以外ではほとんど応答が増大した。また、本研究の風洞実験と違い自然風は常に 1 方向から吹くわけではないため、振幅が増大する可能性が高く上流煙突の影響を無視できないといえる。

振幅と乱れの関係性は X 方向の乱れが大きくなるとき振幅が小さくなり、Y 方向の乱れが大きくなるとき振幅が大きくなるといえる。

今後、変動風速の周波数特性等について検討する予定である。

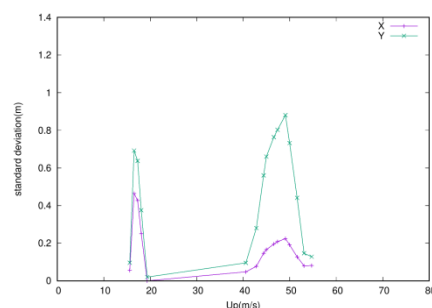


図 2 風速-応答曲線 (V1)

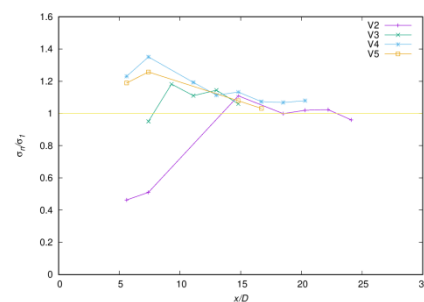


図 3 Y 方向 2 次最大標準偏差割合図

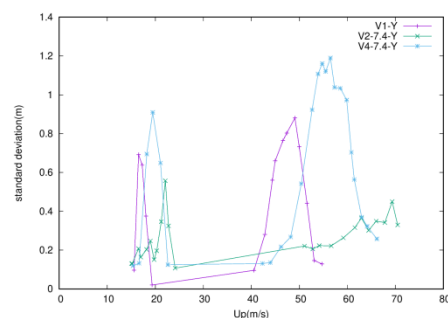


図 4 Y 方向風速-応答曲線

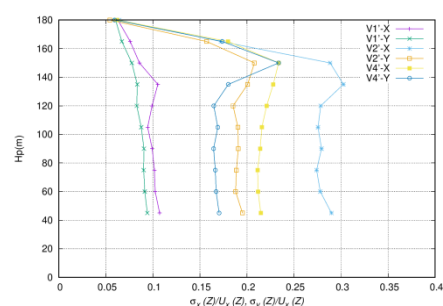


図 5 変動風速の標準偏差図

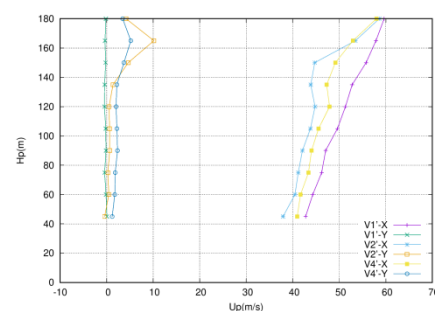


図 6 風速分布図