

# ごみ焼却施設における煙突の耐風設計

## Design Method for Wind Load of RC Stacks in Incineration Plant

岡本 紀明 シビルエンジニアリング部 土木建築設計室  
 飯田 泰彦 シビルエンジニアリング部 土木建築設計室 主査  
 吉田 勝利 シビルエンジニアリング部 土木建築設計室 統括スタッフ

Noriaki Okamoto, Yasuhiko Iida  
 and Katsutoshi Yoshida

近年、ごみ焼却施設の煙突において、高強度コンクリートの採用などによる軽量化のため、外筒断面の決定要因は、地震荷重から共振時風荷重に移行する傾向にある。一方、2000年6月の建築基準法改正による仕様規定から性能規定への流れの中で、煙突の合理的設計として、共振時風荷重を適切に把握することがより重要となってきた。本稿では、典型的な平面形状を持つ煙突の風洞実験結果から、共振時の風力および風応答特性を明らかにするとともに、共振時風荷重と地震荷重との比較検討を行う。

In recent years, the wall thickness of RC stack in incineration plants has reduced considerably, mainly because of the adoption of high-strength concrete. As a result, across-wind load became dominant. Tunnel tests for stacks of typical shapes, clarify dynamic response characteristics.

し、地震荷重との比較検討を行う。

### 2. ごみ焼却施設の煙突

実験対象煙突の構造諸元を Table 1 に示す。典型的な平面形状である正方形、円形、正三角形の3種類を選択した。平面の大きさは、2本の内筒と点検用階段を包含し、高さは、比較的良好に見られる60m級と、アスペクト比の違いを考察するために80m級を選択した。60m級の煙突の概要と諸元を Fig.1 に示す。

<sup>1),2)</sup>に示されているが、性に依りて複雑に変化するため、風洞実験などでの予測を必要とする。

### 3. 動的風力実験

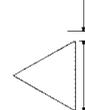
一方、近年では、高強度コンクリートの採用による軽量化などのため、RC外筒断面の決定要因は、地震荷重から共振時風荷重に移行する傾向にある。2000年6月の建築基準法改正による性能設計への流れの中で、煙突の合理的設計として、共振時風荷重を適切に把握することがより重要となってきた。

本報では、ごみ焼却施設のRC煙突における典型的な平面形状において、風力および応答の風洞実験を行い、動的風力特性と風応答特性を明らかにした。また、実設計に利用できるように、建築物荷重指針

Table 1 Typical properties of RC stacks

Configuration	Height $H$ (m)	Width $B$ (m)	Ratio of aspect $H/D$	1st frequency $f_0$ (Hz)	1st generalized mass $M$ ( $\times 10^3$ kg)
---------------	-------------------	------------------	--------------------------	-----------------------------	---

図1に示すように、正方形、円形、正三角形などの平面形状を持つデザイン重視のRC外筒に移り変わった。煙突の耐風設計の考え方は、各規準



<sup>3)</sup>で規定されている荷重

算定法に準拠した設計用風力係数から共振時風荷重を算出



### 3.2 風力係数の定義

各風力係数は、計測風力から以下のように算出される<sup>4)</sup>。

抗力係数

$$\dots\dots(1)$$

揚力係数

$$\dots\dots(2)$$

風方向転倒モーメント係数

$$\dots\dots(3)$$

風直角方向転倒モーメント係数

$$\dots\dots(4)$$

ねじれモーメント係数

$$\dots\dots(5)$$

ただし、

$V_H$  : 模型頂部での平均風速                    : 空気密度

### 3.3 実験結果

ここでは、高さ30cm模型を中心に、その結果を述べる。各方向のモーメント係数の風向きによる変化については、抗力係数と揚力係数に同じ傾向を示したことから考察を省略する。

#### 3.3.1 風力係数

##### (1) 正方形断面

Fig.4(a)の最大抗力係数 $C_{Dmax}$ は、風向 $0^\circ$ で最大となり、風向 $20^\circ$ 付近まで減少し、その後再び増加に転じる。変動抗力係数 $C_{Drms}$ は、風向による大きな変化は見られない。平均抗力係数 $C_{Dave}$ もあまり大きな変化はないが、風向 $45^\circ$ で最大となる。Fig.4(b)の最大揚力係数 $C_{Lmax}$ は、風向 $5^\circ$ 付近で最大値となり、風向 $45^\circ$ 付近で最小となる。平均揚力係数 $C_{Lave}$ は風向 $15^\circ$ 付近で最大となる。

##### (2) 正三角形断面

Fig.5(a)の抗力係数は、最大抗力係数 $C_{Dmax}$ 、平均抗力係数 $C_{Dave}$ ともに風向 $20^\circ$ 付近から上昇し始め、風向 $60^\circ$ 付近で最大となる。変動抗力係数 $C_{Drms}$ に大きな変化は見られない。Fig.5(b)の揚力係数は、最大揚力係数 $C_{Lmax}$   $P=x \_ '$



### 5. 設計用等価風力係数

動的風力実験および風応答実験の結果から、文献3)で規定されている荷重算定法に準拠して、設計用風力係数を定める。

ゴ橋傳き煙の蚤Uグ熏 弁篋 頁弁0横僥俛皮く 8け蕭 瞎w

ないとき、風直角方向の設計用風力係数  $C_{LMAX}(z)$  は、動的風力天秤による実験値から推定できる。風直角方向風力の鉛直分布を、べき乗分布で与えられるものとし、式(10)の

めうば横街嘴る.s 0横電1S見輪俞文大の算咳定抗 莞益FきbiL

.....(10)

この式から、

.....(11a)

.....(11b)

つまり、最大揚力係数分布のパラメータは、

.....(12a)

.....(12b)

と得られる。 $C_{LMAX}$  および  $C_{MLMAX}$  から  $C_0$  および  $\alpha$  を Table 4 に示す。これは、あくまでも式(10)を仮定した場合の、煙突が静止しているか、あるいは、応答が小さい場合の便宜的な分布である。Table 4 のように、30cm, 40cm で  $C_0$  の値にばらつきが出るが、おおむね、 $C_0$  の値は、正方形断面で3、正三角形断面で1.3、円形断面で0.7程度となっている。図にすると、いずれも3角形分布に近い結果となる。

#### 5.2.2 共振時等価風力係数の推定

文献3)では、煙突などの円筒状構造物の渦励振による等価静的風荷重を、式(13)で与えている。

$$W_r = 0.1 U_r^2(z/H) C_r A \quad \dots\dots(13)$$

つまり、頂部で最大となり、基部で0となる3角形分布の風荷重を与えている。頂部で応答が大きく、風力が振幅に依存して大きくなるとの仮定である。U

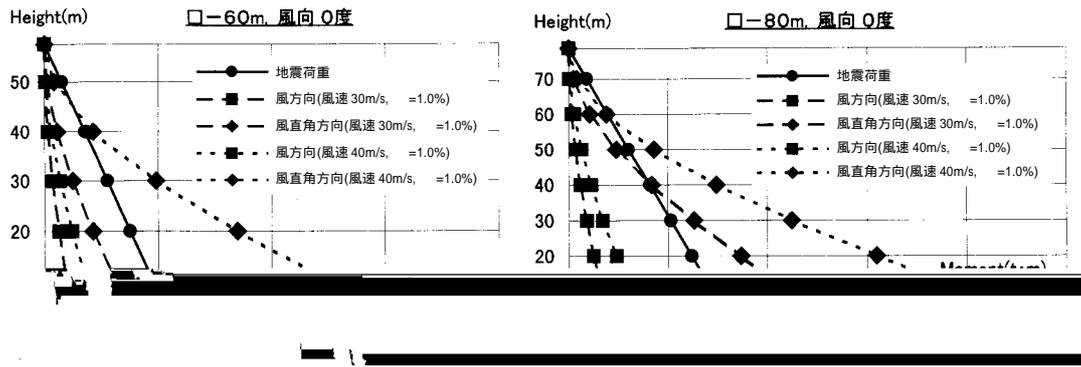


Fig.17 Bending moment distribution of stack for square shapes

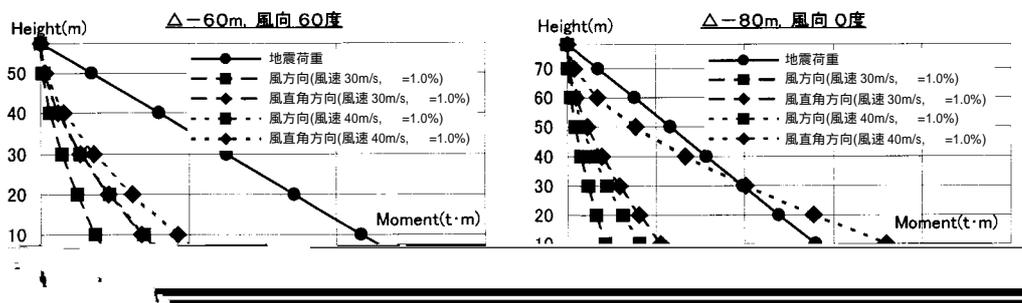


Fig.18 Bending moment distribution of stack for triangle shapes

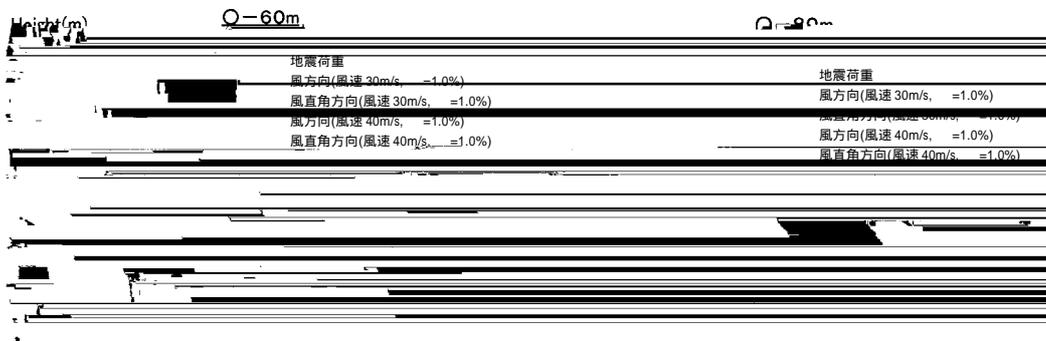


Fig.19 Bending moment distribution of stack for circle shapes

## 7. おわりに

ごみ焼却施設における煙突の典型的な平面形状において、動的風力実験と風応答実験を行い、動的風力特性と風応答特性ならびに実設計に用いる共振時風力の大きさを明らかにした。今回得られた結果から、以下に知見を述べる。

(1) 風方向基本風力係数は、高さ60m(模型高さ30cm)の場合で、正方形1.46(風向45°)、正三角形1.56(風向60°)、円形0.86である。高さ80m(模型高さ40cm)の場合、おのこの平面形状において、高さ60mのおよそ1.05倍となる。

(2) 無次元共振風速は、高さ60mの場合で、円形( $U^*$  7)が正方形と正三角形( $U^*$  9)より小さい。高さ80mの場

合は、正方形と三角形の減衰定数0.5%において、およそ1.1倍の風速となり、その他は高さ60mとほとんど同じである。

(3) 共振風力係数は、減衰定数1%において、円形( $C_f$  4)に比較して、正方形が4倍( $C_f$  18)、正三角形は11倍( $C_f$  45)となる。高さ80mの場合、正三角形において高さ60mのおよそ0.8となり、その他は高さ60mとほとんど同じである。

(4) 共振の再現頻度を考察するために、Fig.17~19に、短期設計用荷重で想定されるおおよその基本風速30~40m/sに相当する無次元風速を示す。共振の再現頻度は、円形、正方形、正三角形の順に大きい。

(5) 共振時における風直角方向の曲げモーメントは、円形断面については、高さ60m、80mおよび基本風速30m/s、40m/sのすべてのケースにおいて、地震荷重を下回るが、三角形断面については、高さ80mで基本風速40m/sの場合に、地震荷重を上回る。正方形断面については、高さ60mで基本風速が30m/sの場合をのぞいて、すべてのケースで地震荷重を上回る。

今後は、コストダウンを主眼において、地震荷重を上回る正方形断面の共振時風荷重の低減方策について、研究を進める予定である。最後に今回の風洞実験にあたり、ご協力とご指導をいただいた東京工芸大学の田村幸雄教授と田村研究室の各位、東洋テクノ(株)の各位に厚く謝意を表す。

#### 参 考 文 献

- 1) 日本建築学会. 鉄筋コンクリート煙突の構造設計指針. 1976.6.
- 2) 日本建築センター. 煙突構造設計施工指針. 1982.11.
- 3) 日本建築学会. 建築物荷重指針・同解説. 1993.4.
- 4) 日本建築センター. 実務者のための建築物風洞実験ガイドブック. 1994.6.
- 5) 荒川利治ほか. “常時微動による鉄筋コンクリート高層煙突の減衰特性”. 日本建築学会技術報告集. No.7, pp.27-32, 1999.2
- 6) 飯田泰彦ほか. “ごみ焼却施設のRC煙突における風応答特性”. 日本建築学会技術報告集. No.12, pp.35-40, 2001.8宛宛宛宛宛 ミ 番