

## RC超高煙突の耐風耐震設計について

## その2 台形断面煙突の風洞実験による風荷重の評価

正会員 ○孟 岩 \*1

同 小野木隆浩\*2

同 杉本 一 \*3

同 世古 泰郎\*3

風洞実験、風力、隅切、空力不安定振動、風応答解析

## 1. はじめに

塔状構造物の耐風設計を行う際に、構造物の風力特性を正確に把握することは重要である。しかし、本煙突のような平面的に台形の形状を有する構造物の風力係数及び変動風力のスペクトルについての資料が極めて少ない。そこで本報では、計画煙突に作用する風荷重を評価するために実施した風力天秤実験、空力振動実験及びこれらの実験結果を基に行った風応答解析の結果を報告する。

## 2. 風洞と模型の概要

風洞実験は、清水建設技術研究所にある幅2.6m、高さ2.4mの測定断面をもつ境界層風洞で行った。煙突模型は、風洞気流の縮尺にあわせて1/250とした。図1には本実験に用いた煙突模型の断面形状を示し、台形断面の4つの角には短辺長さの1/18(モデル1)もしくは3/18(モデル2)の隅切りを施している。本実験では周辺建物の影響を考慮するために計画煙突を中心にして半径250m範囲内の高い構造物を再現した。

## 3. 風洞実験の結果

3.1 風力天秤実験 実験には、煙突基部におけるX、Y方向の水平力、X、Y方向の転倒モーメント及びZ軸回りの振りモーメントを5分力計により測定した。実験風速は9m/sとし、実験風向は5°あるいは10°間隔で、0°~360°までの合計52風向とした。図2には構造軸方向における平均と変動風力係数を示す。図中の実線と点線はモデル1(隅切り1/18)の結果、白丸と黒三角はモデル2(隅切り3/18)の結果を表す。モデル1に比べ、モデル2の平均と変動風力係数は殆どの風向において小さくなっている。この結果は、モデル2に作用する平均風荷重及び非共振成分に伴う動的な風荷重の値がモデル1のそれより小さくなることを意味する。一般に構造物に作用する風荷重には平均風荷重と非共振成分に伴う動的な風荷重以外に、共振成分に伴う動的な風荷重も含まれている。構造物が高くなると、風荷重の中には共振成分に伴う動的な風荷重が支配的となる。この場合は平均と変動風力係数よりも、変動風力のパワースペクトルの形状が重要となってくる。図3には代表的な二つの風向の変動空気力のパワースペクトル密度を示す。図中の一点鎖線は、レベル2の設計風速( $U_H=72.5\text{m/s}$ )と煙突の固有周期( $T_0=1.70\text{s}$ )から求めた無次元周波数 $n_0^*$ を表す。90°風向にはX方向の転倒モーメントスペクトルに鋭いピークを示すのに対し

て、180°風向にはY方向の転倒モーメントスペクトルに鋭いピークを示す。この二つのピークとも風直角方向の変動風力に対応している。モデル1に比べ、モデル2のパワースペクトルのピーク値が小さくなるが、ピーク的位置はより高周波数側に現れ、また無次元周波数 $n_0^*$ の位置においてはモデル2の値もモデル1のそれより高くなっている。このことはモデル2の共振成分に伴う動的な風荷重がモデル1のそれより高いことを意味する。実際、本煙突についてはモデル2に作用する風荷重の最大値がモデル1より大きくなっていることは予備応答解析の結果からも明らかにされている。以下、モデル1に対して行った空力振動実験及び風応答解析結果について述べる。

3.2 空力振動実験 建物自身の振動により生じる付加的な空気力を評価するためにロッキング振動実験を行った。実験模型の固有周期、減衰定数及び慣性2次モーメントの値は相似則により実物の値に換算した時に表1に示した値に合うように設定した。実験風向は90°と180°の2つの風向とした。煙突頂部でのX、Y方向の水平変位は非接触型レーザー変位計により測定し、その結果を図4、図5に示す。風力実験の結果から推定された応答変位も図中に併記した。90°風向では風直角振動に典型的な渦励振が見られたのに対して、180°風向では明確な渦励振の発生が見られない。また、レベル2の設計風速( $U_H=72.5\text{m/s}$ )以下の風速範囲においては空力振動実験から得られた応答変位が風力天秤実験の結果から推定された応答変位を上回らないことも分かる。

3.3 風応答解析 レベル2の設計風速以下の風速範囲において建物自身の振動により生じる付加的な空気力を無視できることが確認されたため、本煙突に作用する風荷重を風力天秤実験の結果からスペクトルモデル法により求めた。本煙突の1次固有振動モードのべき指数の値はX、Y方向においてそれぞれ1.9と2.0であり、直線モードから大きく離れているため、大熊[1]の方法により一般化平均及び変動風力に対してモード補正を行った。レベル2の設計風速に対して煙突基部におけるX、Y方向の剪断力と転倒モーメントの風向による変化を図6に示す。X、Y方向の剪断力と転倒モーメントが最大となる風向はそれぞれ95°と175°である。最大剪断力は約4,000tonで、最大転倒モーメントは約550,000tonmである。

Wind and earthquake-resistant design for a tall RC Stack

Part 2 Evaluation of wind loads by wind tunnel tests for a tall RC Stack with a trapezoidal plan

MENG Yan, ONOGI Takahiro, SUGIMOTO Hajime and SEKO Yasuo

### 4. まとめ

平面形が台形の煙突に作用する風荷重は風洞実験により評価し、以下の結論を得た。1) 隅切り3/18の台形煙突に比べ、隅切り1/18の煙突に作用する風荷重が小さい。2) 最大剪断力と最大転倒モーメントの発生は風直角振動によるものである。3) 本煙突はレベル2の設計風速以下の風速範囲において付加空気力の影響を無視できる。

参考文献 [1]大熊、日本建築学会論文報告書、No.187、pp.59-67、1971.

表1 計画煙突の構造パラメータ

	固有周期	減数定数	一般化質量×H <sup>2</sup>
X方向	1.36 (s)	2%	1.07 × 10 <sup>13</sup> (g · s <sup>2</sup> m)
Y方向	1.70 (s)	2%	1.00 × 10 <sup>13</sup> (g · s <sup>2</sup> m)

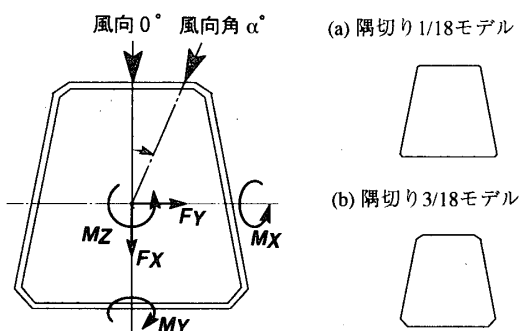


図1 煙突の断面形状と各風力成分の定義

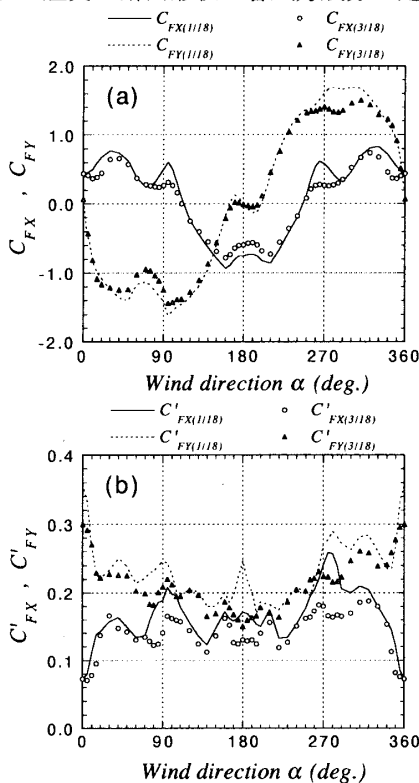


図2 構造軸方向の平均と変動風力係数

- \*1 清水建設(株)技術研究所
- \*2 電源開発(株)建設部建築室
- \*3 (株)開発設計 設計本部

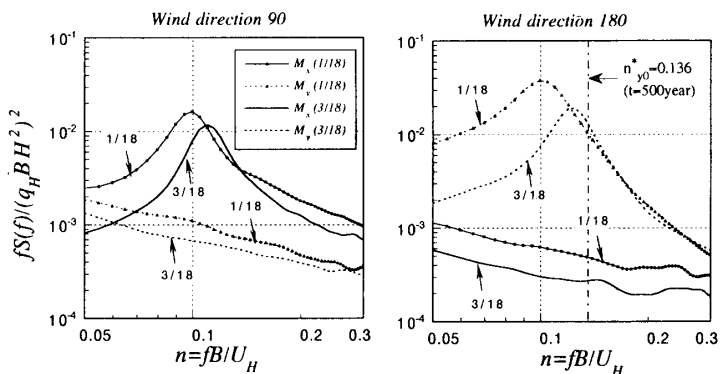


図3 風向90°と180°におけるX、Y方向の変動風力のパワースペクトル密度

天秤モデル ロッキングモデル

- mean<sub>FB</sub> × mean<sub>RC</sub>
- ..... r.m.s.<sub>FB</sub> △ r.m.s.<sub>RC</sub>
- max<sub>FB</sub> ○ max<sub>RC</sub>

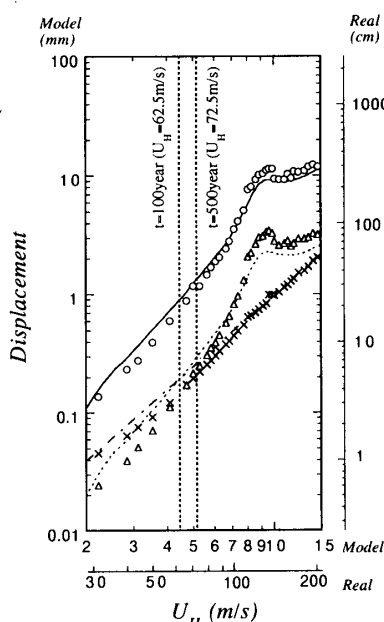
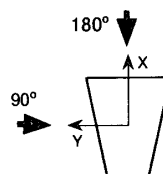


図4 風向90°における煙突頂部のX方向変位

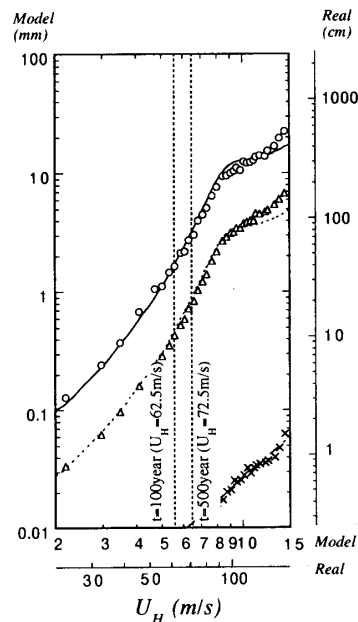


図5 風向180°における煙突頂部のY方向変位

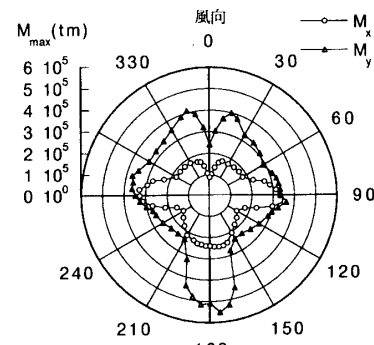
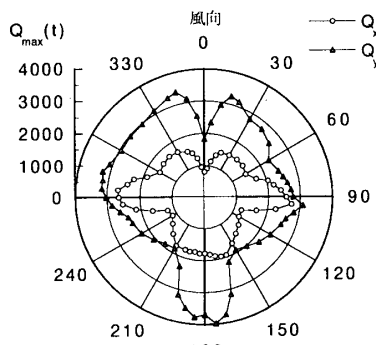


図6 煙突基部での剪断力と転倒モーメント

Institute of Technology, Shimizu Corporation

Civil Eng. & Architecture Dept., Electric Power Development Co., Ltd

Eng. Design Dept., Kaihatsu Architects & Engineers, INC