

# 超高鋼製煙突の動特性評価 (その2 2自由度RD法とFDDによる動特性評価)

正会員 吉田 昭仁\* 田村 幸雄\*  
正会員 舩田 健次\*\* 伊藤 隆文\*\*\*

常時微動実測 RD法 FDD法  
固有振動数 減衰定数

## 1. はじめに

前報<sup>1)</sup>に引き続き H 煙突の動特性の解析結果を示す。本解析では前報の 3 日間のデータを繋ぎあわせ、計 90 分の常時微動データとしてそれぞれの解析を行なった。

## 2. 解析方法

### 2.1 RD 法による解析方法

常時微動により得られた各成分の加速度データのパワースペクトル密度を求め、卓越振動数のピークが十分に落ちきった幅でバンドパスフィルターをかけ、RD法を適用して減衰波形を求めた。その際に、パワースペクトル密度の固有振動数のピークに近接するピークがある場合は RD 減衰波形がビートし、1 自由度系の式を用いて正確な減衰定数を算出することが難しい。その場合は、例えば 2 自由度系の自由振動波形を当てはめる等が必要となる。ここでは、RD 波形を 2 つの 1 自由度系の振動が重畳しているものと見なし、下式に基づき、最小 2 乗法を用いて、それぞれの固有振動数および減衰定数を推定した。

$$x_i = \frac{x_{0i}}{\sqrt{1-h_i^2}} e^{-h_i \omega_i t} \cos(\sqrt{1-h_i^2} \omega_i t - \phi_i)$$

$$x = \sum_{i=1}^2 x_i + m$$

ここで、  
 $x$ : RD 波形  $x_i$ :  $i$  次の自由振動波形  
 $x_{0i}$ :  $i$  次の自由振動波形の初期値  $h_i$ :  $i$  次の減衰定数  
 $\omega_i$ :  $i$  次の固有円振動数  $t$ : 時間  
 $\phi_i$ :  $i$  次の初期位相  $m$ : RD 波形の時間平均値

### 2.2 FDD 法による解析方法

固有振動数のピークが複数近接して存在する場合の有効なシステム同定手法として Frequency Domain Decomposition (FDD) 法と呼ばれる手法があり<sup>2) 3)</sup>、本研究においても FDD 法による解析を行なった。

FDD 法とは、観測によりえられた応答値群のスペクトル行列を求め、特異値分解 (Singular Value Decomposition) を行ない、固有振動数や固有ベクトルおよび減衰定数を推定する手法である。

## 3. 解析結果

図 1 に EW 方向の加速度のパワースペクトル密度を示す。なお、図には RD 法を用いる際のバンドパス幅も示した。0.40Hz 付近に明瞭なピークが見られるが、近接して 0.41Hz にもピークがある。また、これらの 2 次振動成分に相当すると思われる 1.5Hz 付近にも明確なピークが見られる。

高さ 230m に設置された EW 方向の加速度の時系列波形に RD 法を適用して得られた減衰波形を図 2 に示す。RD 減衰波形はビートしており、1 自由度系の自由振動波形でフィッティングすることができない。前述の式を用いて、最小 2 乗法により 2 つの固有振動数と減衰定数を求めた結果、低次側が固有振動数 0.40Hz、減衰定数 0.18%、高次側が 0.41Hz、0.30% と推定された。3,4 次についても同様の解析を行なった。

図 3 に FDD 法により得られた特異値の周波数分布、図 4 に図 3 の振動数の幅を 0.1-0.7Hz に拡大した周波数分布を示す。図 3 はパワースペクトル密度と同様の形状の周波数分布が見られるが、図 4 の拡大図でわかるように、0.40Hz と 0.41Hz の両方のピークが出ている特異値曲線の下に、それらの谷の周波数付近にピークを持つ特異値曲線が見られる。固有値が近接する場合には、この 2 つめの特異値曲線のピークの左右を延長することによって分離した固有振動モードの存在を確認することができる。

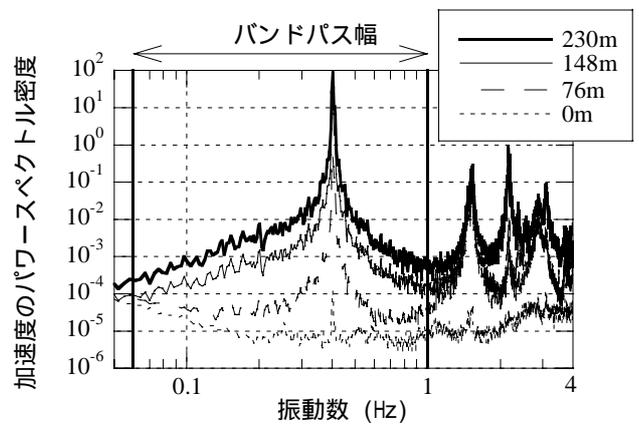


図1 加速度のパワースペクトル密度 (NS方向、FFT個数 32768個、アンサンブル平均 17波)

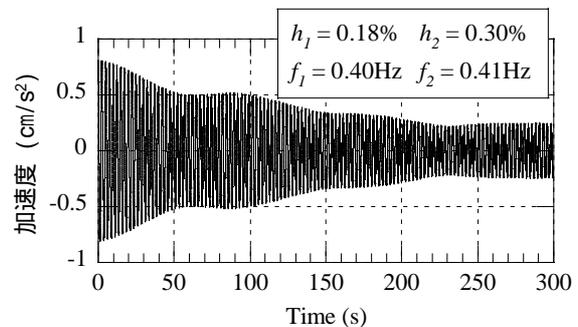


図2 RD減衰波形 (EW方向,高さ220m)

図5に、特異値の周波数分布から1次モード成分を分離して得た自己相関関数を示す。RD法により得られた減衰波形と比較して、ビートしておらず、1次モードのみに分離されている。

図6にFDD法でのFFT個数による減衰定数の変化を示す。FFT個数が少ない場合には、周波数分解能が低いため、減衰定数が大きく推定されてしまうが、FFT個数を増加させていくに従い、減衰定数はある値に収束していくことが分かる。

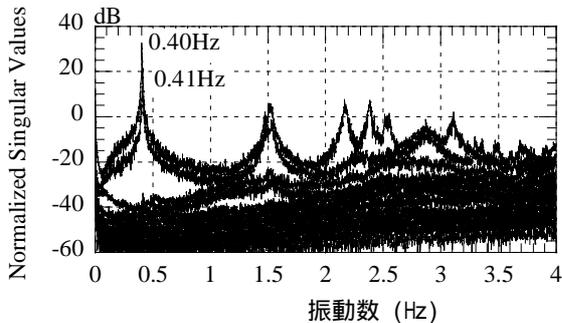


図3 特異値の周波数分布

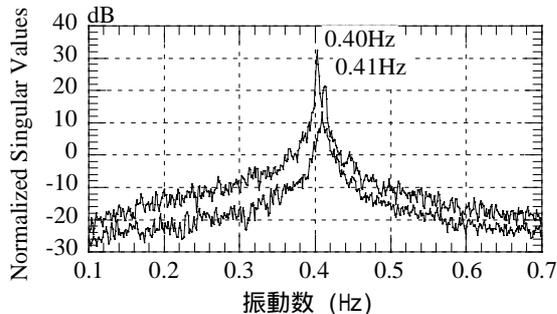


図4 特異値の周波数分布(0.1-0.7Hz)

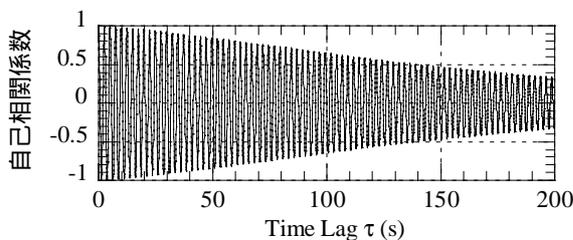


図5 FDD法により得られた自己相関関数(1次モード)

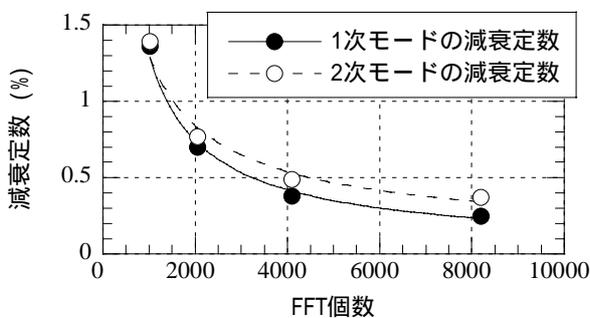


図6 FFT個数による減衰定数の変化

1次モードの減衰定数は0.2%程度、2次モードの減衰定数は0.3%程度に収束すると考えられる。

図7にパワースペクトル密度およびFDD法により得られた振動モード形を示す。両者は非常に良く対応していることが分かる。

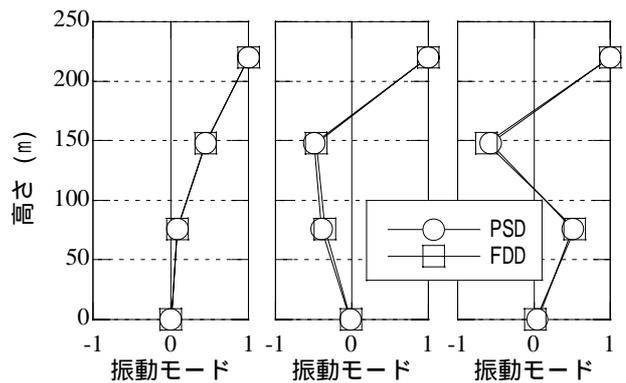
表1にRD法およびFDD法により得られた動特性を示す。FDD法では、8次の固有振動数まで明確にできた。2自由度を想定したRD法による結果と、FDD法による結果の対応は固有振動数、減衰定数とも概ね良好である。

まとめ

以上、2自由度を想定したRD法、およびFDD法を用いて、固有値の近接した鋼製煙突の動特性の推定を行ない、概ね良好な対応を得た。

参考文献

- 1) 舛田他、超高鋼製煙突の動特性評価(その1 常時微動観測) 日本建築学会大会学術講演梗概集、2002
- 2) R. Brincker et al., Modal Identification from Ambient Responses using Frequency Domain Decomposition, Proc. of the 19<sup>th</sup> IMAC, pp625-630, 2001.2
- 3) Y. Tamura et al., Ambient vibration testing & modal identification of an office building, Proc. of the 20<sup>th</sup> IMAC, pp141-146, 2002.2



(a) 1次モード (b) 2次モード (c) 3次モード

図7 振動モード形(NS方向)

表1 解析により得られた動特性

次数	固有振動数 (Hz)		減衰定数 (%)	
	RD法	FDD法	RD法	FDD法
1次	0.40	0.40	0.18	0.24
2次	0.41	0.41	0.30	0.39
3次	1.47	1.47	0.83	0.3
4次	1.53	1.52	0.85	0.91
5次	2.17	2.17	0.55	0.65
6次	2.38	2.38	0.42	0.39
7次	-	2.87	-	-
8次	-	3.10	-	0.77

\*東京工芸大学工学部建築学科

\*\*東京電力株式会社電力技術研究所建築グループ

\*\*\*東電設計株式会社建築本部建築構造技術部

\*Tokyo Institute of Polytechnics

\*\*Tokyo Electric Power Company

\*\*\*Tokyo Electric Power Services CO., LTD.