

屋根瓦の内圧予測に関する研究 その2 内圧の推定方法に関する検討

屋根瓦 内圧 風洞実験
部分模型 非定常ベルヌイ方程式

正会員 ○岡田 創*
同 大熊 武司**
同 丸川比佐夫*
同 片桐 純治*

1. はじめに

その2では、外圧から瓦の内圧を推定する方法について検討する。但し、本研究ではモデルを単純化して考えるため、瓦と野地板の間の内部空間として屋根全体ではなく、その1¹⁾に示した瓦1枚分の内部空間を対象として検討を行う。

2. 解析方法概要

その1の実験結果によれば、瓦1枚分の内部空間を対象とした場合、ヘルムホルツ共鳴が生じる。これは内部容積に対して隙間の面積が大きく慣性項の影響が現れたものと考えられる。加えて、隙間の形状は複雑で圧力損失を無視し得ないことが考えられる。そこで、本研究では非定常のベルヌイ方程式に開口部の圧力損失を考慮した Oh et al.²⁾による方法を準用する。以下、解析方法の概要を示す。

非定常のベルヌイ方程式に断面の急変による圧力損失 Δp_1 及び摩擦抵抗による損失 Δp_2 を考慮すると(1)式のように表せる。

$$\rho_a L_{e,j} \frac{dU_j}{dt} + \Delta p_{1,j} + \Delta p_{2,j} = P_{e,j} - P_i \quad (1)$$

ここで、 U : 風速、 P_e : 外圧、 P_i : 内圧、 ρ_a : 空気密度、 L_e : 開口部の有効深さ、添字 j は j 番目の開口部を示す。

Δp_1 を流速の二乗に比例するものとして圧力損失係数 C_L を用いると、流れの向きを考慮して(2)式で表される。

$$\Delta p_{1,j} = C_L \frac{\rho_a}{2} |U_j| U_j \quad (2)$$

摩擦抵抗による圧力損失 Δp_2 は、摩擦損失係数 λ を用いて(3)式で表される。

$$\Delta p_{2,j} = \lambda_j \frac{L_j}{d_j} \frac{\rho_a}{2} |U_j| U_j \quad (3)$$

ここで、 L : 開口部の深さ、 d : 代表長さで開口部が円形の場合は直径、二重壁間の流れでは壁面間の距離である。

隙間の流れを層流と仮定すれば、摩擦損失係数 λ はレイノルズ数 R_e に反比例するものと見なして(4)式のように表すことができる。

$$\lambda_j = \frac{f_j}{R_e} = f_j \frac{\nu}{U_j d_j} \quad (4)$$

ここで、 ν : 動粘性係数、 f は円形断面では 64、二重壁間の流れでは 6 となる。

(1)式に(2)~(4)式を代入して j 点の開口における外圧に関する方程式(5)式が得られる。

$$\rho_a L_{e,j} \dot{U}_j + C_L \frac{\rho_a}{2} |U_j| U_j + f_j \frac{\rho_a \nu L_j}{2 d_j^2} U_j = P_{e,j} - P_i \quad (5)$$

一方、気体の状態方程式は(6)式で表される。

$$\frac{P_i}{P_a} = \left(\frac{\rho_i}{\rho_a} \right)^\gamma \quad (6)$$

ここで、 P_a : 大気圧、 ρ_i : 内部空間の空気密度、 γ : 比熱比で断熱膨張の場合 $\gamma=1.4$ である。

また、内部容積の質量保存則より(7)式が得られる。

$$V_0 \frac{d\rho_i}{dt} = \sum_j \rho_i c A_{0,j} U_j \quad (7)$$

ここで、 V_0 : 内部容積、 A_0 : 開口部面積、 c : 開口部の有効面積比である。

(6)式及び(7)式と $\rho_i \cong \rho_a$ を仮定することにより(8)式が得られる。

$$\frac{V_0}{\gamma P_a} \dot{P}_i = \sum_j c A_{0,j} U_j \quad (8)$$

(5)式と(8)式を連立することにより内圧を推定することができる。

本研究では、風洞実験により得られた外圧 $P_{e,j}$ を用いて平均加速度法により(5)式と(8)式を解くことにより内圧 P_i の推定を行った。

3. 内圧の推定

3.1 スリットモデルによる検討

まず、スリットモデルを対象とした検討結果について示す。内圧の変動風圧係数の推定結果と実験結果の比較を表1に示す。なお、(4)式における f の値は、前述のように層流における円形断面及び二重壁間の理論値は得られているものの、本研究で対象とする瓦の隙間における流れの様子は不明であるため、 $f=40,60,80$ として解析を行った。

変動風圧係数は、 f による大きな変化はなく、いずれのケースも実験値とよく一致している。

図1にスリットモデルの変動内圧のパワースペクトル密度の推定値と実験値の比較を示す。

推定値の f による変化は 100Hz 前後の共鳴周波数付近に見られ、 f が大きいほどピーク値が小さくなる。実験値と最も一致するのは、 $L=10\text{mm}$ の風向1では $f=80$ 、 $L=10\text{mm}$ の風向2と $L=40\text{mm}$ の風向1では $f=60$ 、 $L=40$ の風向2で

は $f=40$ としたときである。

3.2 部分モデルによる検討

部分モデルの内圧の推定では、スリットモデルでの結果が f により大きく変化しなかったことから、円形断面の $f=64$ を用いた。部分モデルの場合、その 1 に示したように瓦の上下の重なり部分（スリット A）における隙間の幅は一様でないことから、最初にスリット A と B で平均外圧係数が異なる風向 1 についてスリット A の幅を変えて平均内圧係数を算定し、最も実験値と一致する $d=1.8\text{mm}$ とした。有効面積比 c は、スリット A では 0.33, スリット B では 0.62 とした。

表 2 に変動内圧係数の推定値と実験値を示す。風向 2 では推定値は実験値とよく一致しているが、風向 1 では推定値は実験値より小さめの値となっている。

図 2 に部分モデルの内圧時系列波形の一例を示す。

いずれの風向も実験値と推定値はよい対応を示すが、風向 1 では推定値の正側のピークがやや小さくなっている。

図 3 に変動内圧のパワースペクトル密度を示す。

風向 2 では推定値は実験値とよく一致した結果が得られている。風向 1 では、75Hz 以下の周波数において推定値が実験値より小さく、この結果として変動内圧係数の推定値が小さくなっている。75Hz 以上の周波数では推定値は実験値よりも若干大きめであるが、スペクトルピークの周波数は 160Hz で実験値とよく一致している。

風向 1 における違いの要因としては、その 1 に示すように瓦の隙間を一定の幅と深さのスリットにモデル化していること、正圧部分の風圧の評価が考えられる。

4. まとめ

開口部の圧力損失を考慮した非定常ベルヌイ方程式により瓦 1 枚分の内圧空間を対象とし内圧の推定を行った。推定した内圧は実験値と概ね一致しており、本研究の方法を用いて外圧から瓦の内圧が推定可能なことを示した。

参考文献

- 1) 片桐他；瓦屋根の内圧予測に関する研究 その 1，日本建築学会大会学術講演梗概集，2008 年
- 2) Oh, J.H. et al.; The UWO contribution to the NIST aerodynamic database for wind loads on low buildings: Part 3. Internal pressures, J. of Wind Eng. and Ind. Aerodyn., Vol. 95, Issue 8, Aug. 2007, pp.755-779

表 1 スリットモデルの変動内圧係数の推定結果

		風向 1		風向 2	
L (mm)		10	40	10	40
実験値		0.050	0.049	0.087	0.090
推定値	f=40	0.048	0.047	0.085	0.088
	f=60	0.048	0.047	0.085	0.088
	f=80	0.047	0.046	0.085	0.088

表 2 部分モデルの変動内圧係数の推定結果

	風向 1	風向 2
実験値	0.089	0.076
推定値	0.068	0.073

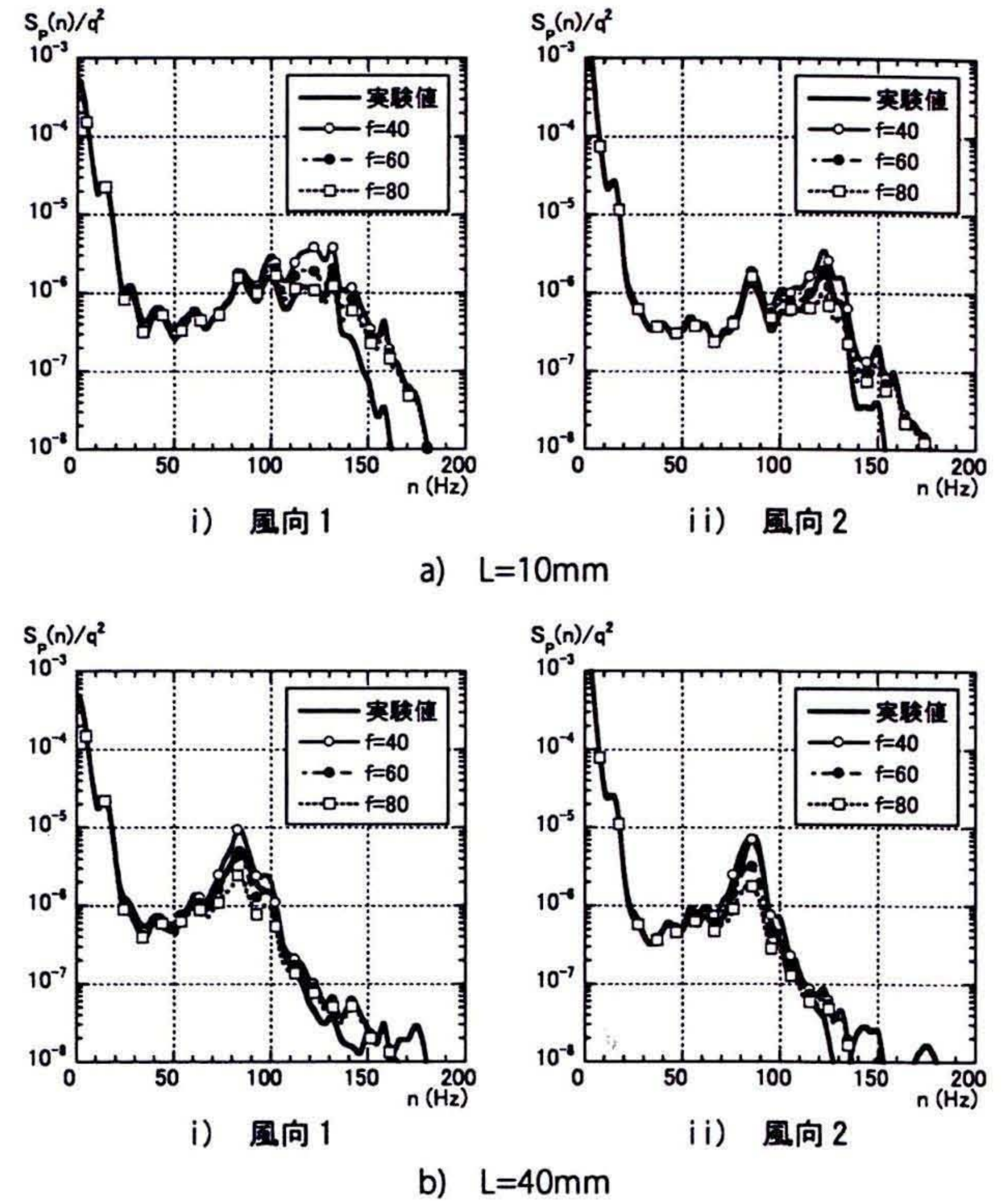


図 1 スリットモデルの推定結果

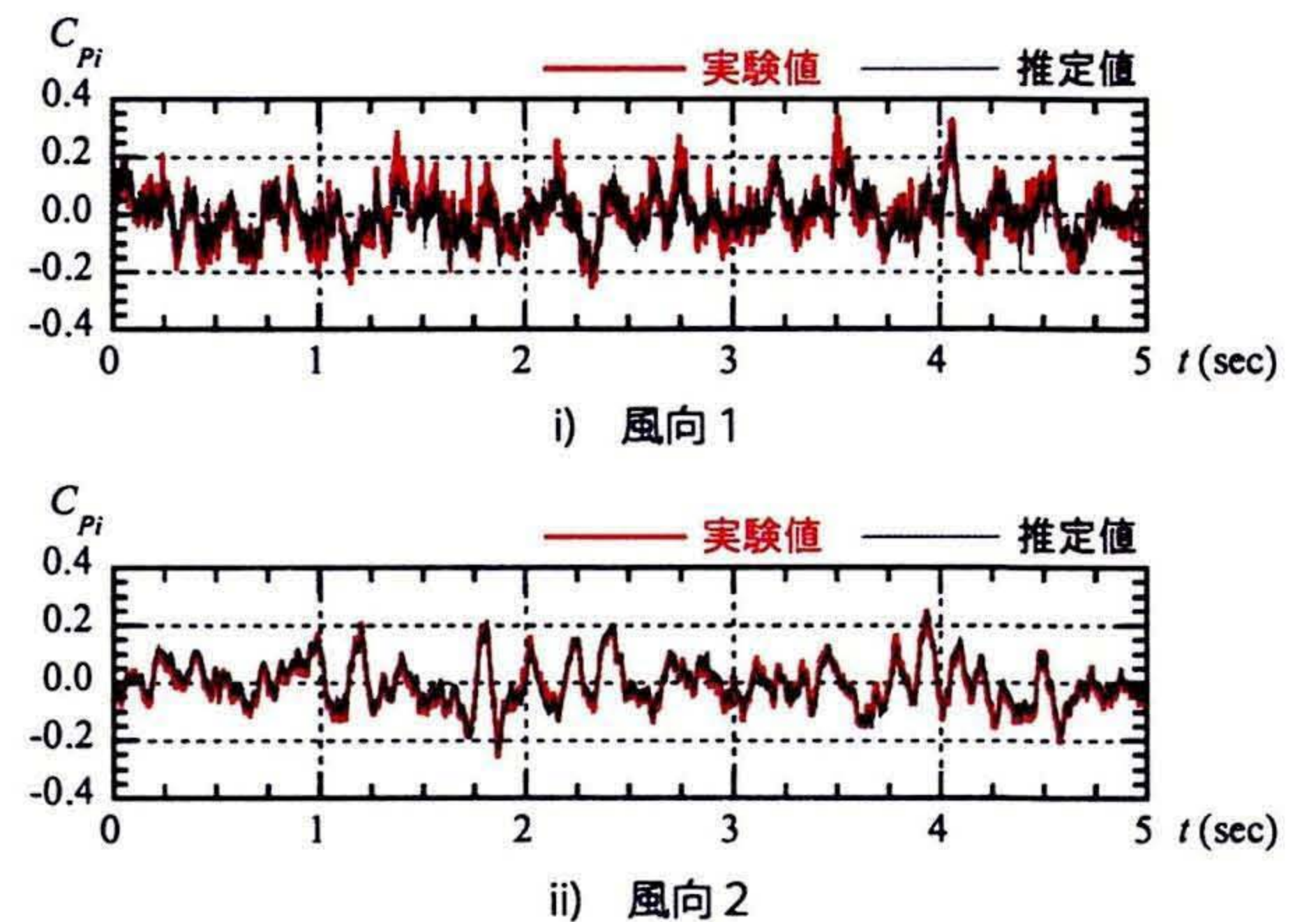


図 2 部分モデルの内圧時系列波形

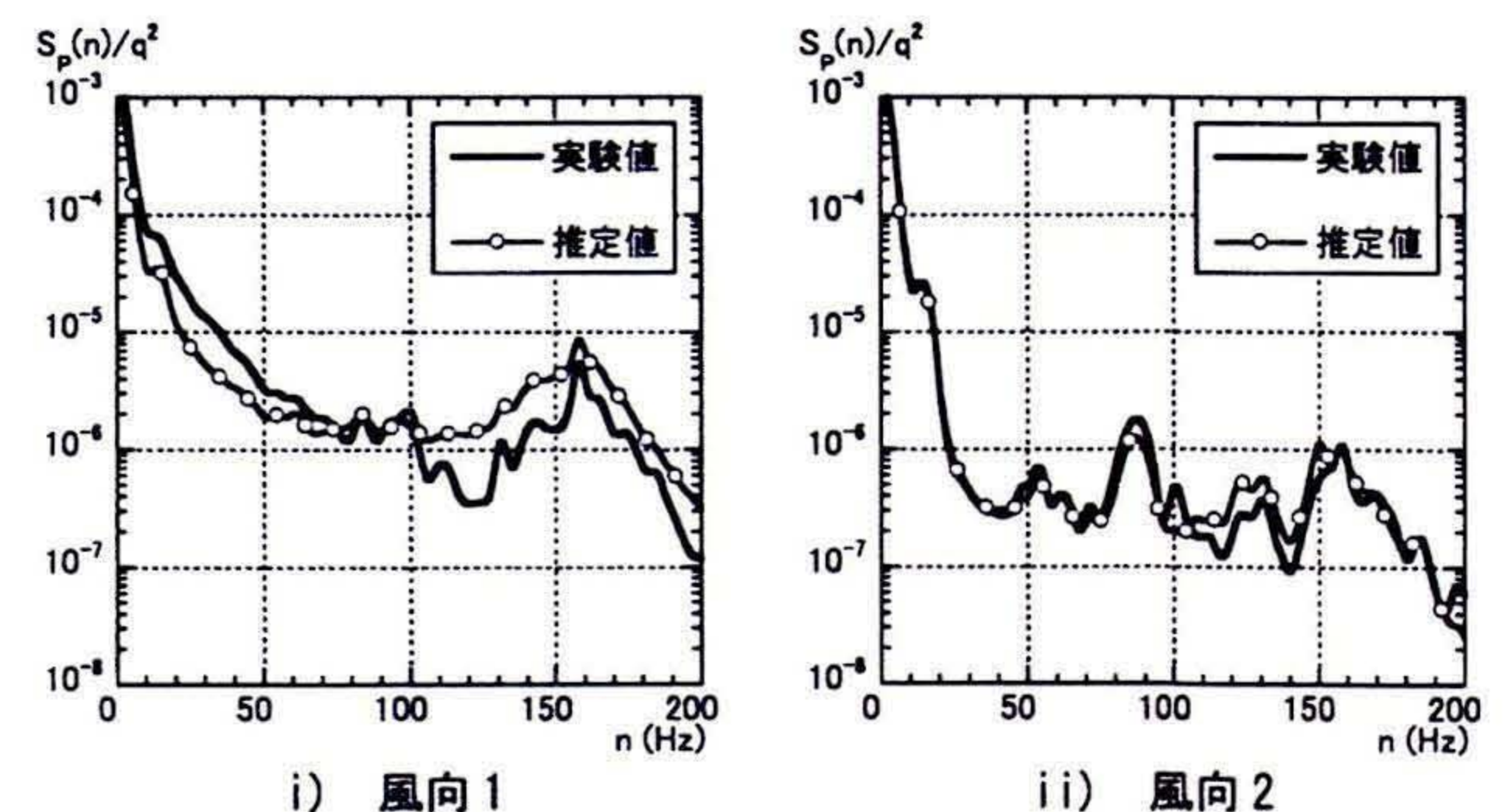


図 3 部分モデルの推定結果

* 泉創建エンジニアリング

** 神奈川大学工学部建築学科

*Izumisoiken Engineering Co., Ltd.

**Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Kanagawa Univ.