

集合住宅のバルコニー手摺り格子の振動に関する研究

建築防災分野

岡本 亮二

1. はじめに

近年、居住空間の環境問題が大きく取り上げられるようになってきている。この中の一つに、バルコニー手摺りの縦格子が風によって振動し、騒音が発生するという問題がある。この要因には、建物の高層化に伴って手摺りに直接強い風が吹き付けることや、手摺り格子のコスト削減のため軽量化が図られ、格子断面の剛性が小さくなり、わずかな変動風力に対しても格子が振動を起こすようになったという一面もある。振動を抑制することで騒音を防止することができるが、この問題は予測が非常に困難であり、現状では設計した格子断面に対して確認実験を行っているに過ぎない。手摺り格子の振動を抑制するためには、その発生原因を調査する必要がある。しかし、現在このような問題に対する研究は少なく、詳細な調査が必要となっている。

そこで本研究では、まず実際に使用されている実物大のアルミ手摺り格子を用いて風洞実験を行い、振動する手摺り格子に加わる変動風力と変位を測定した。そしてこのときの変動風力を用いて解析を行い、実際の変位と解析の変位を比較することにより、解析によって振動の予測が可能かどうかを試みた。次に二次元模型を作成し、様々な断面形状での圧力を測定し、解析による振動の有無を確認した。そうすることによって手摺りの振動性状を調査し、今後の手摺りの設計手法の一つの流れを示すことを目的としている。

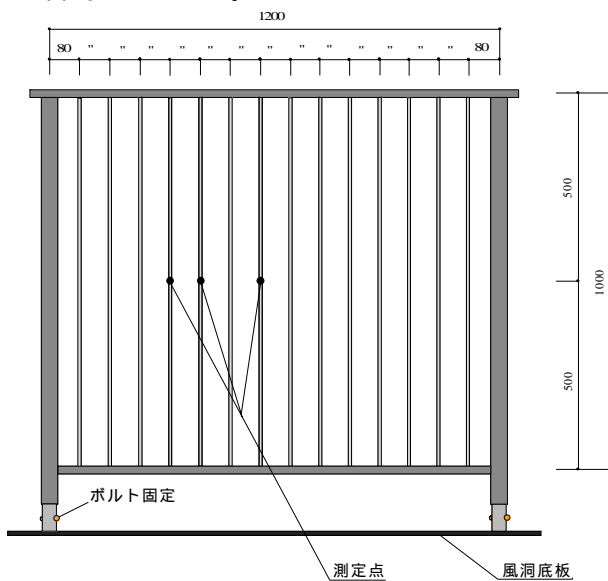


図1 実物手摺り立面図

2. 風洞実験

実験は大阪市立大学工学部所属の噴流式エッフェル型風洞実験装置を用いて行った。本実験では実物の手摺りを用いた実物実験と、二次元模型を用いた二次元模型実験の2種類を行った。

3. 実物手摺り実験

3-1 実物実験概要

実物実験では図1のように支柱スパン 1200 mm、格子部分の高さ 1000 mm、材厚 1 mmのアルミ製手摺りを用いて圧力測定を行った。格子の断面は見付け幅 15 mm、奥行き 20 mmである。また、格子の間隔は 80 mmである。圧力測定を行った格子は図2に示す格子・格子・格子である。測定点は格子の中央部に設けてある。測定孔は格子の側面に外径 1 mmの穴を開け、外径 1 mm、内径 0.5 mmの圧力測定用チューブを挿入し、圧力センサーに接続させている。同時に格子の中央部の変位を x 、 y の2方向でレーザー変位計を用いて測定した。実験を行った風向は $0^\circ \sim 75^\circ$ 、気流は一様流で風速は $5\text{m/s} \sim 13\text{m/s}$ で 1m/s 間隔で測定した。サンプリング周波数は 500Hz 、測定時間は 16.382 秒である。また、風洞実験の前に格子の x 、 y 方向の自由振動実験を行い、固有振動数を求めた結果、 x 方向で 76Hz 、 y 方向で 53Hz であった。また、減衰定数は 0.4% 程度であった。

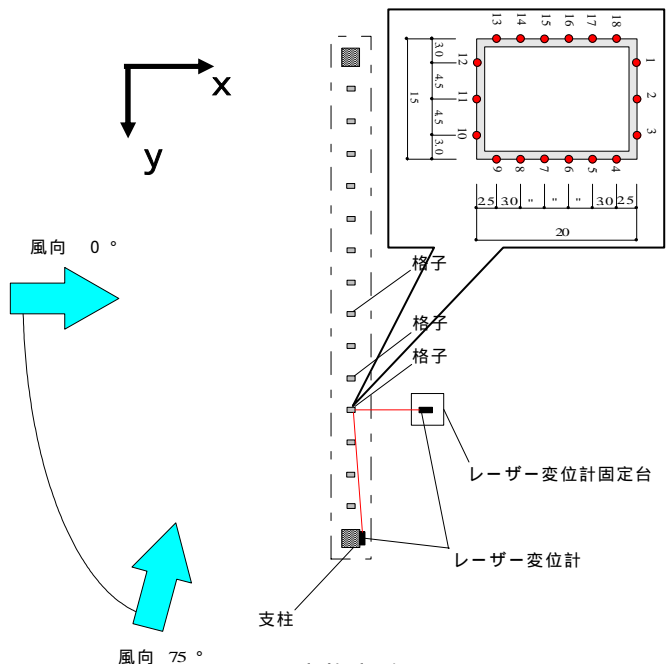


図2 実物実験配置図

3-2 手摺り格子に働く変動風力の性状

各圧力測定点が負担する風力を x, y 軸方向で算定し、格子に働く変動風力とした。ここで風向 0° と 15° のときの変動風力の基準化パワースペクトルをそれぞれ図 3, 図 4 に示す。また、各風向での風速によるストローハル数の変化を図 5 に、風速と変動風力のピーク周波数の関係を図 6 に示す。ストローハル数とは、渦の発生周波数を表し、次式で与えられる。

$$S_f = \frac{f \cdot D}{V_0} \quad \begin{array}{l} f: \text{変動風力のピーク周波数} \\ D: \text{代表長さ} \quad V_0: \text{風速} \end{array}$$

図 3 を見ると、風速 9m/s~13m/s の間で変動風力のスペクトルのピーク周波数が変化していない。そこで図 5 を見ると、風向 0° のとき、風速の増加(9m/s 以上)とともにストローハル数が減少している。本来ストローハル数は一定であるので、風速の増加とともにピーク周波数も増加する(図 4, 図 6)。風向 0° では渦の発生周波数が、固有振動数に近い値で振動している格子に引きずられて、風速が変化しても渦の発生周波数が変化しない状態である同期現象が発生しているものと考えられる。

3-3 手摺り格子の変動変位の性状

図 7 に y 方向の無次元風速と無次元変位の関係を示す。ここで無次元風速は実験風速を格子の 1 次固有振動数と格子の代表長さの積で除したものであり、無次元変位は格子の最大変動変位を格子の長さで除したものである。これを見ると、風向 0° のときは風速とともに変位が大きくなっているが、他の風向では風速 7m/s~8m/s 付近で変位が最大となり、風速 9m/s 以上では変位が減少している。よって手摺り格子の面内振動は、やや風の強い日や集合住宅の高層階などで発生頻度が高くなることが予測される。

3-4 変動風力を用いた時刻歴応答解析

格子に働く変動風力から格子の振動を予測することを試みるため、1 質点系で時刻歴応答解析を行った。解析では変動風力の時系列データを一般化風力の時系列データに変換し、Newmark の法を用いて格子中央部の変位を算定した。解析で得られた変位の R.M.S 値と実際の変位の R.M.S 値を図 8 に示す。これを見ると、全体的に解析値のほうが小さい傾向にあることが分かる。特に風向 0° での差が大きくなっている。風向 0° の風速 9m/s 以上では共振現象が見られた領域である。また、風向 0° 以外では実測値と解析値の R.M.S 値は比較的相関関係が見られる。したがって、解析では共振現象を捉えることはできなかったものの、ある一定の振幅範囲内では、解析によって振動の予測が可能であるといえる。さらに、実測の R.M.S 値から各風向とも風速 10m/s 付近で最大となり、風速 13m/s で最小となっていることから、風速の増加が振動の増加に直接影響を与えることではないことが分かる。

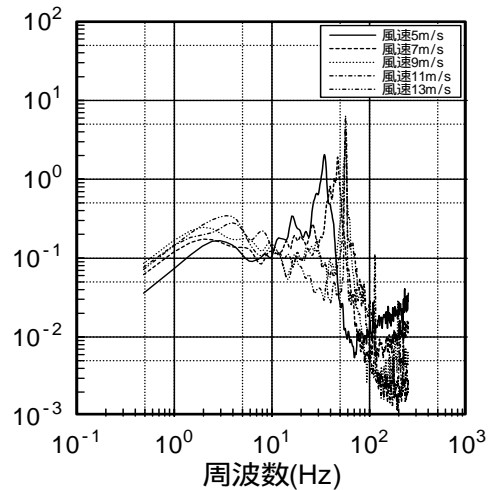


図 3 風向 0° の変動風力の基準化パワースペクトル(y)

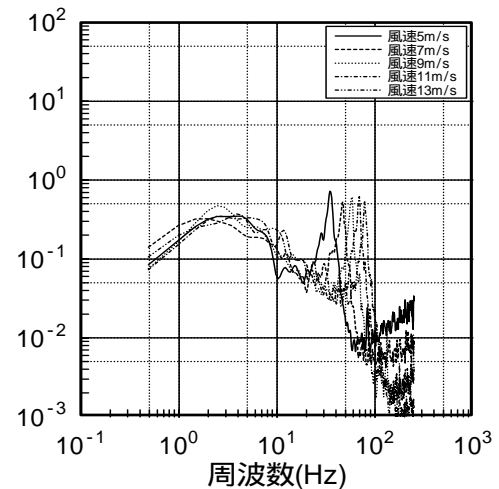


図 4 風向 15° の変動風力の基準化パワースペクトル(y)

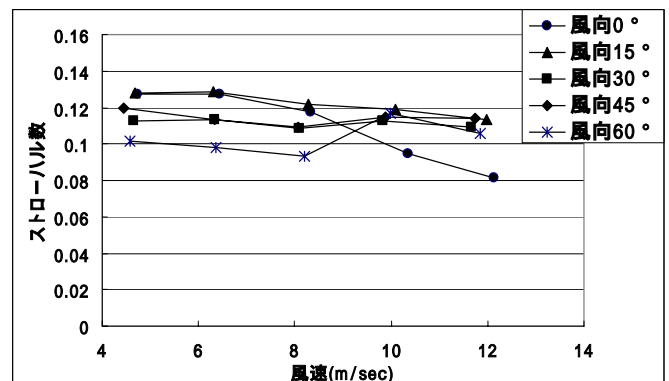


図 5 風向によるストローハル数変化

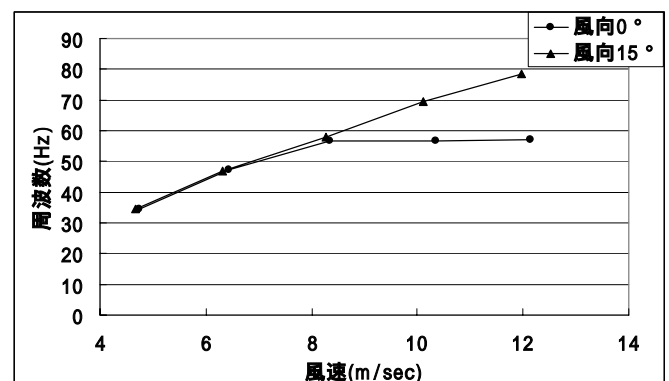


図 6 風速と変動風力のピーク周波数の関係

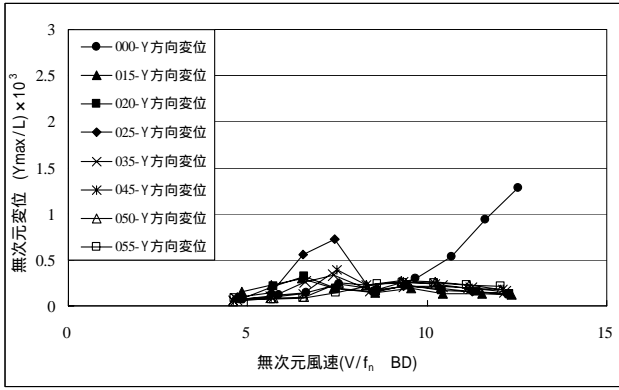


図7 無次元風速と無次元変位の関係(y方向)

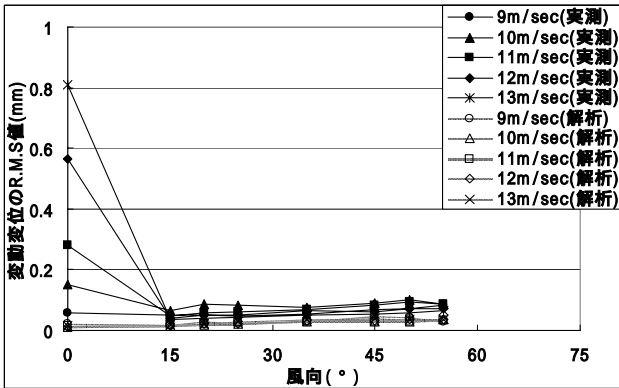


図8 実測と解析の変動変位のR.M.S値(y方向)

4. 二次元模型実験

4-1 二次元模型実験概要

ここでは4種類の断面形状の模型を作成し、模型A, B, C, Dとした。各模型とも同断面の格子を5本作成し、一列に配列し、格子の上部と端部を固定した(図9)。測定点の数は順に34, 38, 27, 30ヶ所である。いずれの模型も長さ500mmで材厚は2mmである。格子間隔は80mmと100mmで行った。測定孔の詳細と測定項目は実物実験と同様である。ここでは風向 $-90^{\circ} \sim 90^{\circ}$ の範囲で模型別に対称性を考慮して風向を定め、 5° 間隔で測定を行った。各模型断面と風向を図11に示す。

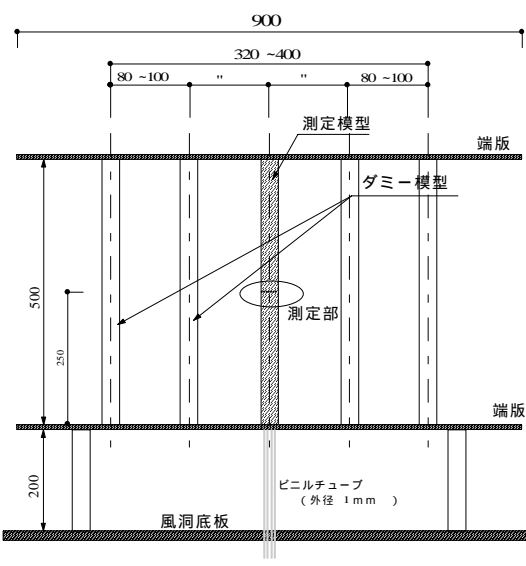


図9 二次元模型立面図

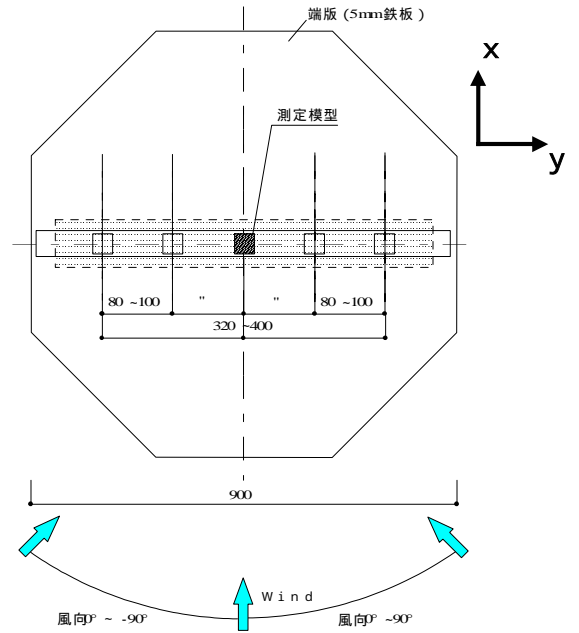


図10 二次元模型実験配置図

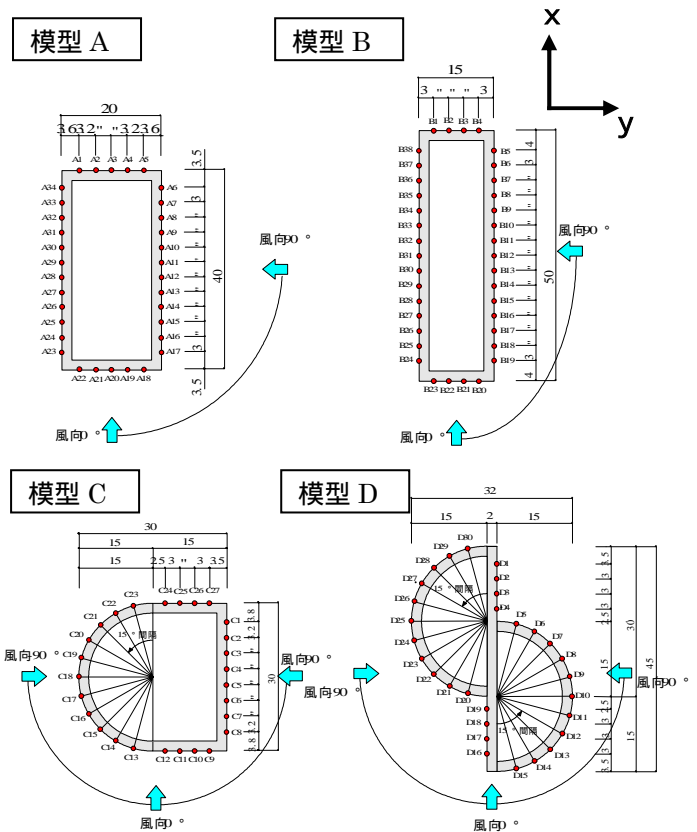


図11 二次元模型断面と風向

表1 各模型の想定手摺りの諸量

模型	質量(kg)	断面2次モーメント(cm ⁴)	固有振動数(Hz)
A	0.32	2.44	46.8
B	0.34	3.64	36.5
C	0.28	1.29	61.8
D	0.34	2.31	53.5

4-2 各模型断面に働く変動風力の性状

実物実験と同様に、二次元模型においても x, y 軸方向の変動風力を算定した。図 12 に模型 C の風向 30° 、模型 D の風向 0° における変動風力の基準化パワースペクトルを示す。どちらも風速の増加とともにピーク周波数が高周波側に移動しており、ストローハル成分をもっていることが確認できる。

4-3 変動風力を用いた時刻歴応答解析

ここでは二次元模型と同断面をもつ長さ 1m の実物大の手摺りを想定し解析を行った。図 13 のように、各模型で風速と変動変位の R.M.S 値は概ね比例する傾向が見られた。しかし図 14 のように、一部の風向では低風速の段階で変動変位にピークが見られる共振現象が発生した。この共振現象は模型 C, D に多く見られたが、模型 A, B では共振は発生しなかった。

4-4 各模型での振動状況

共振の見られた模型 D, 風向 0° について考察すると、図 12 に示す変動風力のピーク周波数が、模型の固有振動数(表 1 参照)に一致するときに最も変動変位が大きくなっていた。また図 14 より、模型 D の風向 $60^\circ, -45^\circ$ では、風速 9m/s の段階で R.M.S 値が大きくなっている。これは、図 15 に示すように変動風力のピークの周波数帯域が比較的広く、その周波数帯域が模型の固有振動数と重なる風速が多いためと考えられる。ここでは R.M.S 値に鋭いピークは見られないため、共振現象は起こらないと考えられるが、模型 A, B と比較すると、低風速域での振動が大きくなる可能性があるため、低風速段階での振動対策が必要であると思われる。

5. まとめ

今回の実験に用いた実物の手摺りでは、風向 0° のときに同期現象が発生したため、風速が変化しても変動風力の基準化パワースペクトルのピーク周波数は格子の固有振動数と一致したままであった。

実物実験で同期現象が発生したときは、変動変位もかなり大きなものとなったが、解析結果ではそれをうまく捉えることができず、解析では振幅依存風力をうまく捉えることができなかつた可能性がある。しかし、小振幅の範囲では実物と解析の変動変位の R.M.S 値に相関関係が見られ、ある程度の振幅であれば、振動は解析でも予測可能であることが明らかとなった。

二次元模型実験では、非対称断面形状の格子は振動が小さくなると予想した。これは周期的な変動風力が発生しないと考えたためである。しかし、本実験では各模型で風速と変動変位の R.M.S 値に概ね同じような比例関係が見られた。また、模型 C, D では低風速の段階で共振の見られた風向がいくつかあり、そこでは模型 A, B よりも振動が大きくなる可能性がある。このことに関しては、今後の研究課題となった。

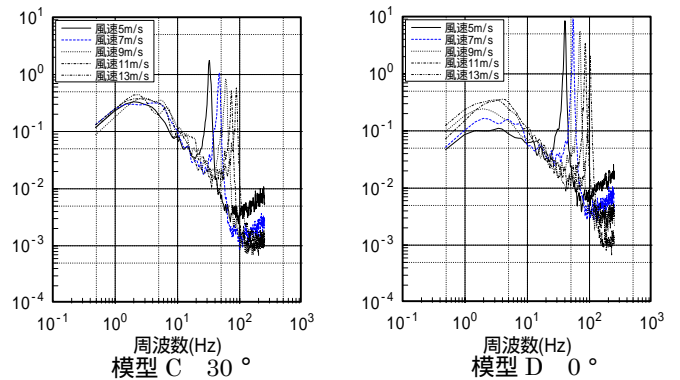


図 12 変動風力の基準化パワースペクトル(y 方向)

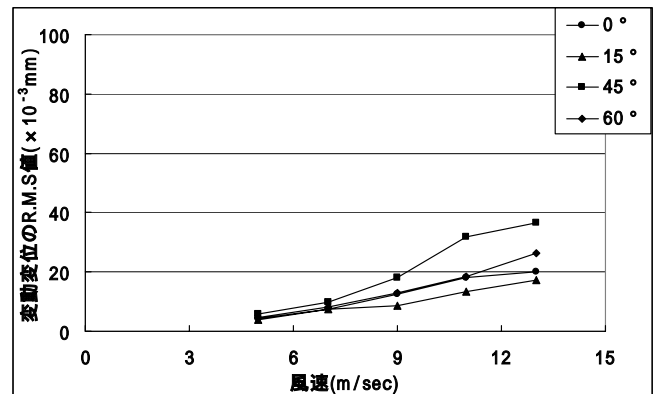


図 13 模型 A の変動変位の R.M.S 値(y 方向)

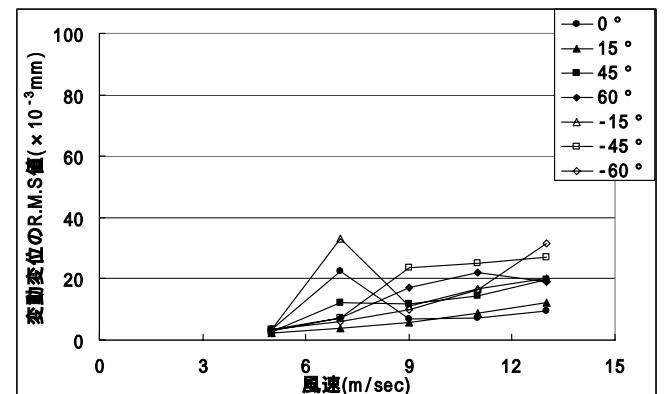


図 14 模型 D の変動変位の R.M.S 値(y 方向)

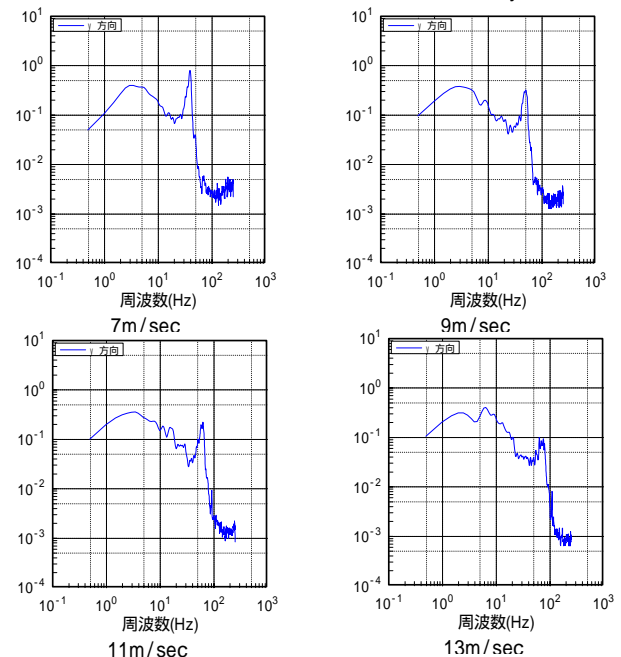


図 15 模型 D, -45° の変動風力の基準化パワースペクトル(y)