

3. 風洞実験による実測調査結果の推定誤差に関する検討

日野泰道*, 佐藤昇**, ポンクムシンソンポル**, 大幢勝利*, 高梨成次*

The Predictability of Wind Pressure Acting on the Actual Scaffolds by the Wind Tunnel Test

by Yasumichi HINO*, Noboru SATO**, Songpol PHONGKUMSING**,
Katsutoshi OHDO* and Seiji Takanashi*

Abstract; There are various shapes, heights of under construction buildings and temporary scaffolds. Locations of construction sites also are various. In construction sites, collapse accidents of the scaffolds sometimes occur due to strong wind. It is necessary to understand reliable wind pressure characteristics acting on the scaffolds to prevent these collapse accidents. Hence, the investigations considered various situations for the quantitative evaluation of wind pressure acting on the scaffolds are needed. In such cases, wind tunnel tests have been usually carried out by using miniature models, for making it possible to do the parametric studies.

By the way, this kind of experiments need reliability which can express the full scale scaffolds characteristics. Therefore, it is necessary to figure out in advance the reliability of wind tunnel test results.

The purpose of this study is to investigate reliability of wind tunnel tests, the relation between full scale scaffolds characteristics of wind pressure acting on natural wind and miniature model characteristics of wind pressure acting on artificial wind by wind tunnel test.

The results of this study are as follows:

- 1) It is possible to estimate qualitatively the wind pressure characteristics of the full scale scaffolds by the data of wind tunnel tests.
- 2) Wind tunnel test results are relatively close to the full scale experiment and extremely precise if the mean wind speed is not very low or the influences of local properties such as timbers do not occur.
- 3) It is necessary to be equal to the mean wind speed of full scale tests as much as possible if the wind pressure characteristics of full scale scaffolds are estimated by wind tunnel tests

Keywords; Wind tunnel experiment, Wind Pressure, Scaffolds

* 建設安全研究グループ Construction Safety Research Group

** 科学技術振興事業団, 重点研究支援協力員 Supporting Staff for Priority Research, Japan Science and Technology Cooperation

1. はじめに

建設現場には様々な形状の建物や足場が存在し、またその立地条件も様々である。そのため足場に作用する風荷重の特性を定量的に把握するためには、様々な状況を考慮した検討が必要となる。そこで通常は、パラメトリックスタディを可能とするため、縮小模型を用いた風洞実験により検討⁹⁾がなされる。しかしながら、縮小模型を用いた風洞実験を実施する上では、実際の足場に生じる諸特性を再現しえるものでなければならない¹⁰⁾し、もしそれが忠実に再現しえない場合は、どの程度の再現性があるかを明らかにしておく必要がある。そこで本研究では、当研究所の敷地内に設置した実測調査用足場、およびその周辺環境を模型化し、風洞実験結果と当該実測調査結果の比較検討を行った。そしてこの検討を通じ、風洞実験により得られる結果の信頼性を検討することを目的とした。

2. 実験概要

2.1 実測調査実験の概要

足場に作用する風荷重を実測調査により検討を行った。なお、この実測調査実験の詳細については、文献³⁾を参照されたい。Fig.1に足場設置位置およびその周辺環境を示す。Fig.2に示すように、足場は当研究所敷地内の建物(既に完成しており、建物壁面に開口部も存在しない)の北側一面の一部に併設して設置したものである。当該足場は7層6スパンの鋼製枠組足場であり、その表面全面にエキスパンドメタルを取付け、それに充実率1に相当する布製シートを取り付けている。(ただし出入口を確保するため、2層2スパン分についてはシートで覆っていない。)足場に作用する風荷重は、このエキスパンドメタルと鋼製足場を仲介する部材にロードセルを介して計測を行った。なお足場に作用する外力としての風荷重は、足場中央の最上部から高さ3mの位置に、風向・風速計を設置し、これにより計測した。

2.2 周辺環境再現模型の設計

周辺環境再現模型は、後述するように相似則⁴⁾と風洞実験設備の特性を考慮して1/150とした。再現する周辺模型の中心は足場を併設させた建物の中心とし、目視による現場調査、および図面による照合を行って、それらの検討結果に基づき主要な建物および樹木の高さ、形状、密度などを決定した。縮小模型は、木製あるいはアクリル製の剛体模型である。なお足場模型は、詳細の模型化が難しいため、足場全体を板材と

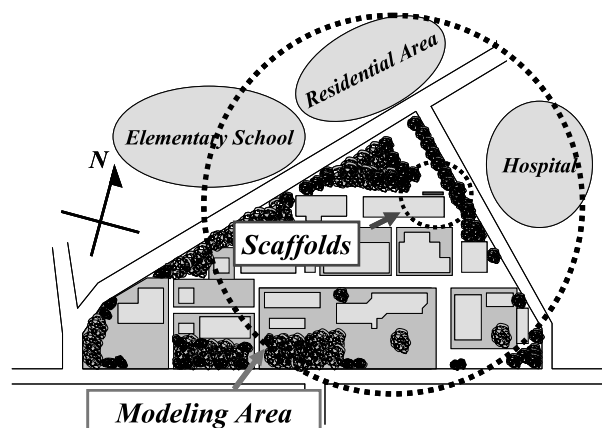


Fig.1 Modeling Area and Erected point of Scaffolds.

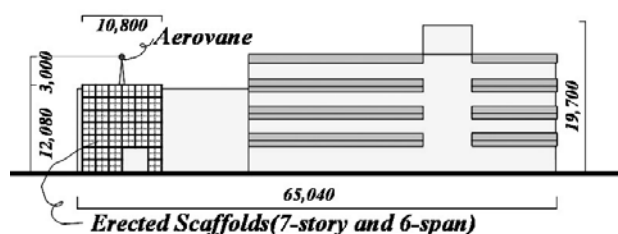


Fig.2 The Erected point of Scaffolds and Aerovane.

して表現した。

2.3 風洞実験装置

実験は当研究所の風洞実験設備(施工環境シミュレーター)を使用することとした。この設備は、風洞気流が洞内を循環する回流型の風洞であり、一般的な名称としてこの種の風洞はゲッチングン型風洞^{4),5)}と呼ばれている。なお、実験セクションであるターンテーブル周辺位置における風洞断面の寸法は幅2.3m、高さ2mである。

2.4 実験時における気流特性

Photo.1に実験装置全景、Fig.3に風洞実験で用いたラフネスブロックおよびスパイヤーの設置位置を示す。当該ブロックの配置については文献^{6),7)}などを参考にして理論解を求め、それを基本モデルとして最終的な微調整を試行錯誤により行った。実験時における風洞内の気流特性は、建築学会の荷重指針⁸⁾を参考に、地域区分Ⅳの特性を有する鉛直分布の理論値を目標とした。風上(ターンテーブルの先端:Fig.4のA-A'で示す位置)における鉛直方向の平均風速分布および乱れ分布をFig.5に示す。風洞実験で再現した気流特性は、平均風速、乱れ強さともに理論値とほぼ等しい関係にあり、気流特性が適切に再現できていることがわかる。

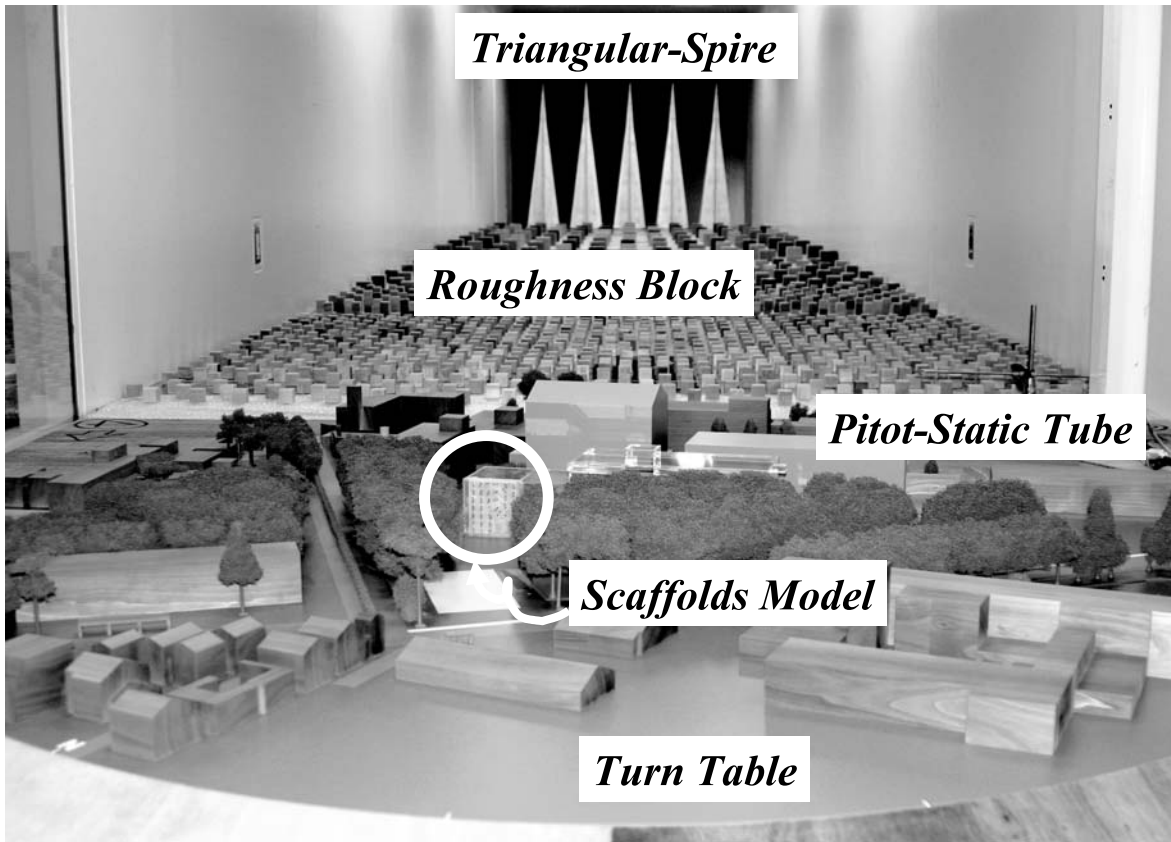


Photo 1 The photo of the Working Section.

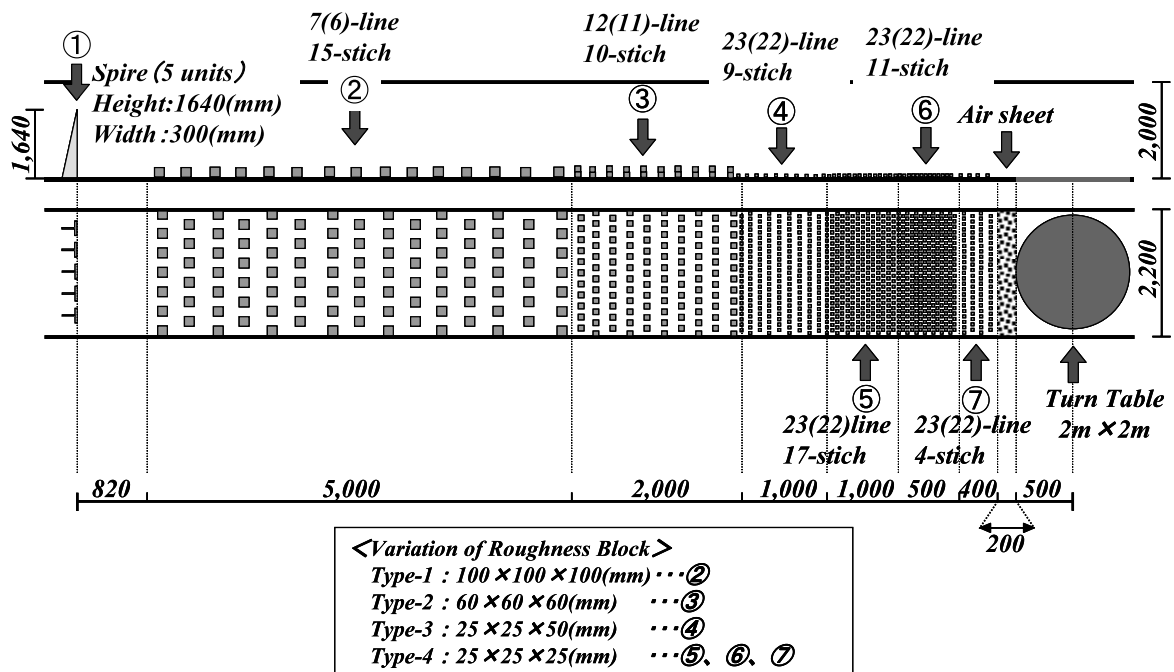


Fig.3 The Setting point of Roughness Block and Spire.

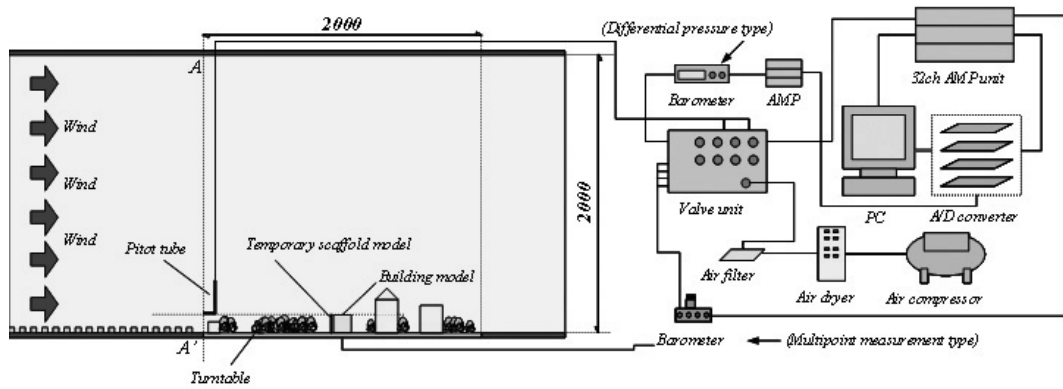


Fig.4 Experimental configuration (unit: mm).

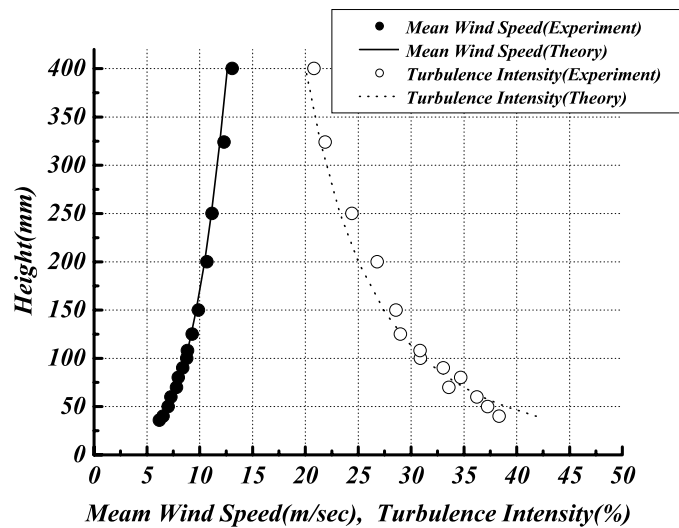


Fig.5 Mean wind speed and turbulence intensity profile.

2.5 計測方法とその評価方法

本研究で使用した実験システムの概念図をFig.4に示す。本実験での計測項目は、風洞内における平均風速と足場の正面側および背面側に作用する風圧力である。平均風速の計測には、差圧型圧力計 (Type698:日本MKS株式会社製) を使用し、足場模型に作用する風圧力の計測には、多点圧力計 (ZOC 23-B:株式会社 大手技研社製) を用いた。風洞内の基準となる平均風速は、足場の頂部高さにおける風速で代表させるものとした。なお、この平均風速は、ピトー管を模型の頂点高さと同高さにて設置して求めた。一方、足場に作用する風圧力は、アクリル内部に埋め込んだビニールチューブを介して足場各部における風圧力の計測を行った。その計測位置はFig.6に示す38点(裏表併せて合計76点)である。計測データは、相似則を考慮して、サンプリング周波数256Hz、収録時間30秒に

て収録を行った。なお、各実験で得られた足場に作用する風圧力は、単純比較ができるようにするため下式により、無次元化を行った。

$$C_{p(i,j)} = C_p(+)(i,j) - C_p(-)(i,j) \quad (1)$$

$$C_p(+)(i,j) = \frac{q(+)(i,j)}{q_z} \quad (2)$$

$$C_p(-)(i,j) = \frac{q(-)(i,j)}{q_z} \quad (3)$$

ここで、
 $C_{p(i,j)}$: (i,j) 点における無次元化平均風圧力 (以下、風圧係数)
 q_z : 足場頂部における平均風速
 $q(\pm)(i,j)$: 正面側or背面側に作用する風圧力の平均値
 (i,j) : 計測点の座標

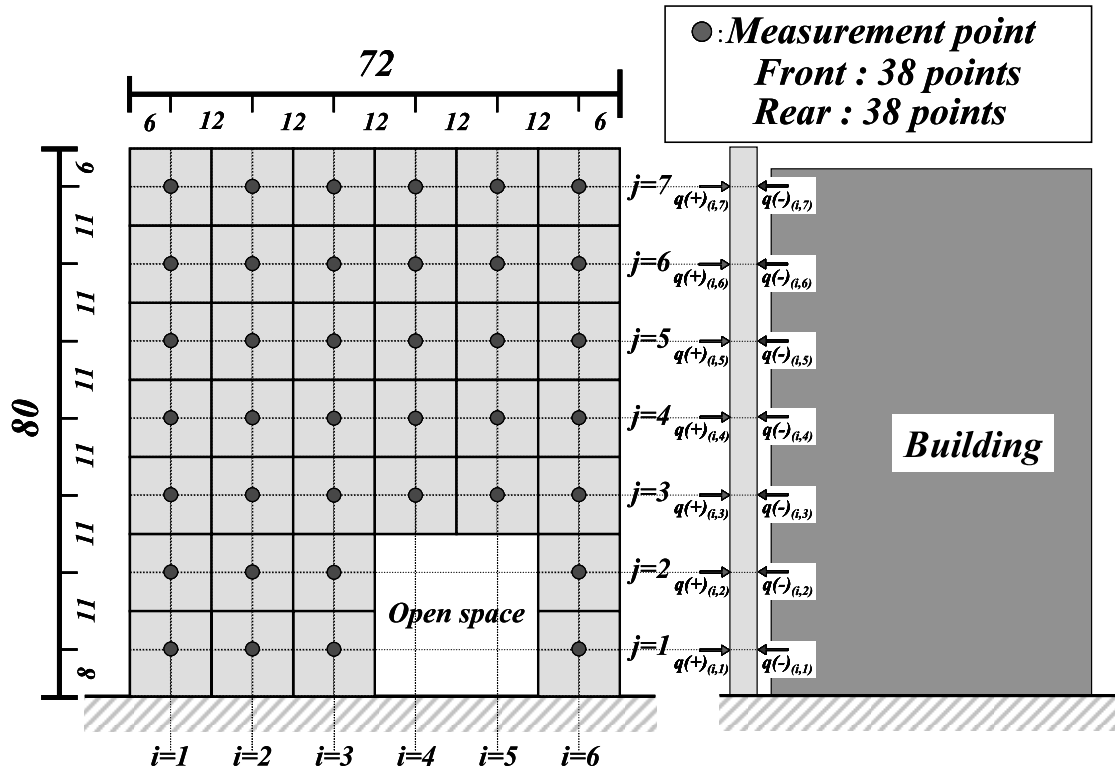


Fig.6 Measurement points of wind pressure on the scaffolds (unit: mm).

3. 実測調査結果と風洞実験結果の比較

Fig.7に風向330°、345°、および0°における実測調査結果（ロードセルにより計測された風荷重の分布特性）と風洞実験で得られた風圧の分布特性を比較して示す。なお、この比較では実測調査結果における風向は時間的に大きく変動しているのに対し、風洞実験では風向変化が考慮できないため、風向変化に起因する誤差が生じることが予想される。また風洞実験では平均風速を10m/secとして実験を行っているのに対し、実測調査実験では同じ平均風速とはなっていないため、この違いによる影響も生じる可能性がある。

これらの前提を踏まえて両者を比較すると、いずれの結果においても、風圧力の最大値が右上で生じ、右下で最小値が生じるという基本特性が一致していること、そして風圧力の変化を示す等高線の変動特性が、実測調査結果と風洞実験結果で大局的には相似の関係にあることが分かる。このことから、大局的には風洞実験結果により、実測調査結果の推定が可能であることが伺える。一方、平均風速の違いという点に着目すると、実測調査結果における平均風速が10m/sec（風洞実験で設定した風速）に近い結果であるほど、風洞実験結果と相似関係が強くなっていることが分か

る。すなわちFig.8の結果で言えば、345°、0°、330°という順番で平均風速が大きく、またこれと同じ順番で、実測調査結果と風洞実験結果との相似関係が強くなっていることが伺える。このことから平均風速については、これを風洞実験で一致させる方が、より信頼性の高い結果が得られることが推測される。その一方で、実験対象とする足場の周辺環境に着目すると、その周辺に樹木が多く存在すること、そして足場と樹木の空間的な位置関係から、風向345°のときに最もその影響を受けにくいことが推測される（Fig.8参照）。これらのことから、風向345°の場合で最も相似関係が強くなった原因が、平均風速によるものか、あるいは模型化が困難な樹木の影響を余り受けなかったことによるものなのかを明らかにする必要がある。

そこでまず平均風速の違いによる推定誤差への影響を調べるため、平均風向がほぼ等しく平均風速が異なる3種類の実測調査結果を用い、これを風洞実験結果と比較することで検討を行うこととする。Fig.9に風向345°において平均風速の異なる結果について比較して示す。風洞実験結果は風速が大きくなるに従い、実測調査結果と相似の関係が強くなることが図から分かる。このことから、平均風速の違いによる影響は大きいと判断できる。次に樹木の影響について検討す

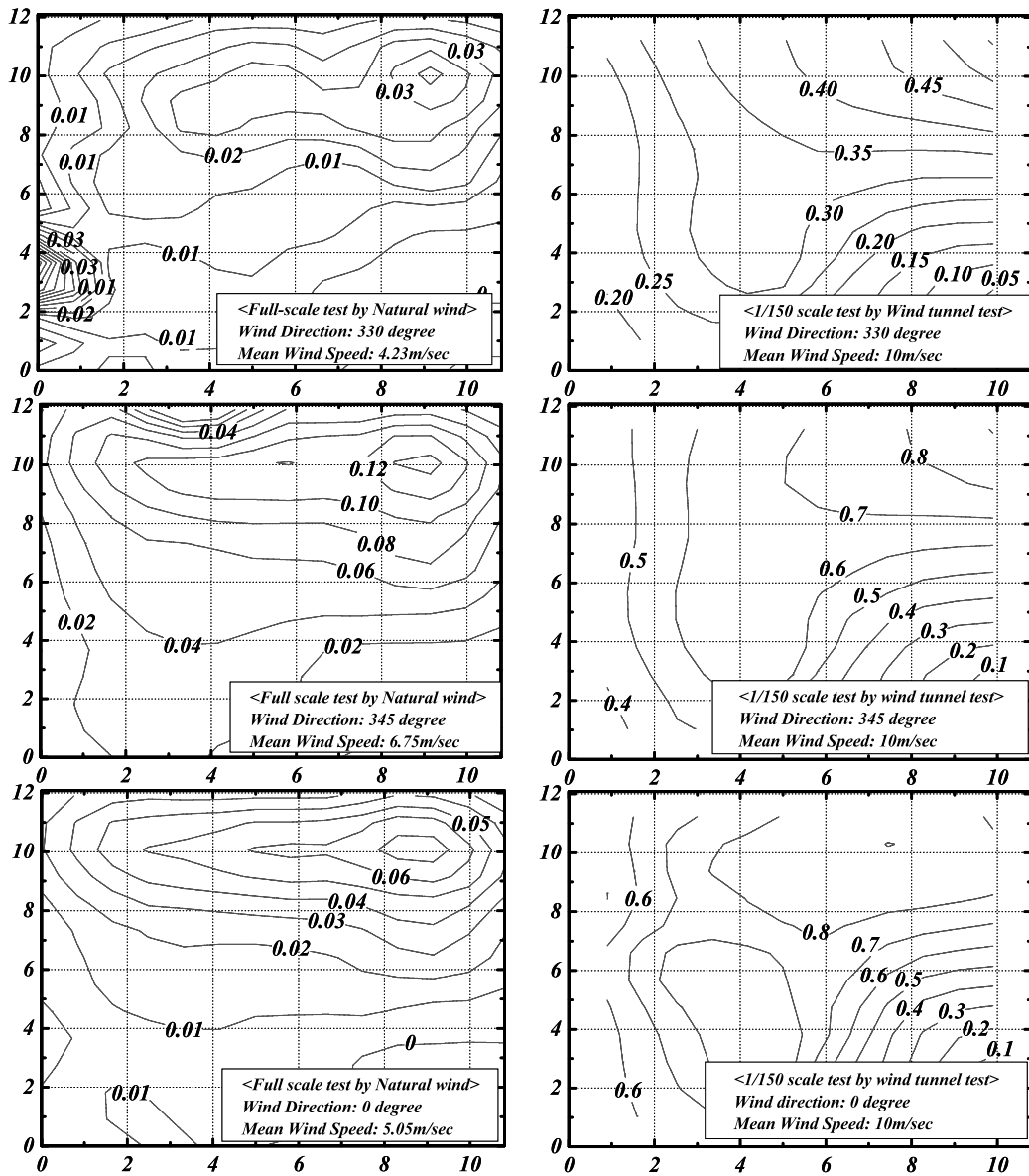


Fig.7 Comparison between full-scale test by natural wind and wind tunnel test on $Cp_{(i,j)}$ (unit : m).

る。Fig.10に樹木の影響を受けると考えられる風向 150° の場合と、ほとんど影響を受けないと思われる 180° の結果について比較したものを示す。両者の相対的な比較で言えば、樹木の影響を受けにくい 180° の場合の方が、実測調査結果を再現しているといえる。これは「足場の右下で荷重が小さく左上で大きい」といった傾向が、風向 180° の場合では実測調査結果と風洞実験結果で一致している点、そして風向 150° では、足場中央がマイナスの値、右上および左下でプラスの値という傾向を風洞実験結果で示しているのに対し、実測調査結果ではすべての位置でマイナスの値を示していること、また右上が最大値となっている点から

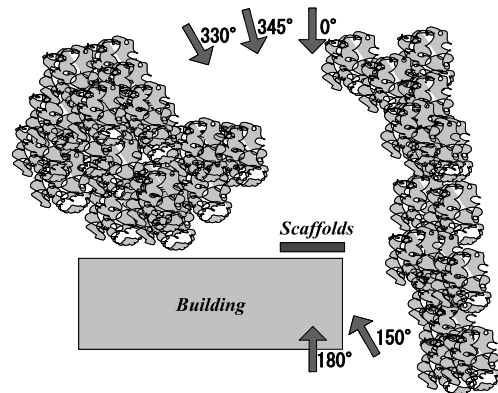


Fig.8 Spatial arrangement of scaffolds and trees.

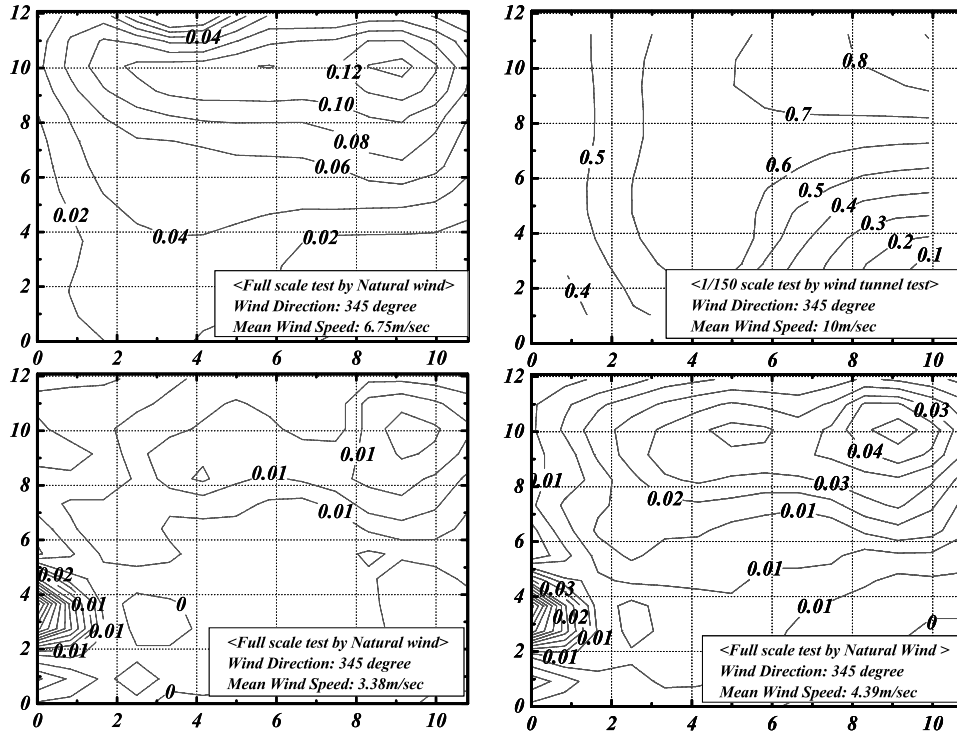


Fig.9 Influence due to difference of mean wind speed (unit : m).

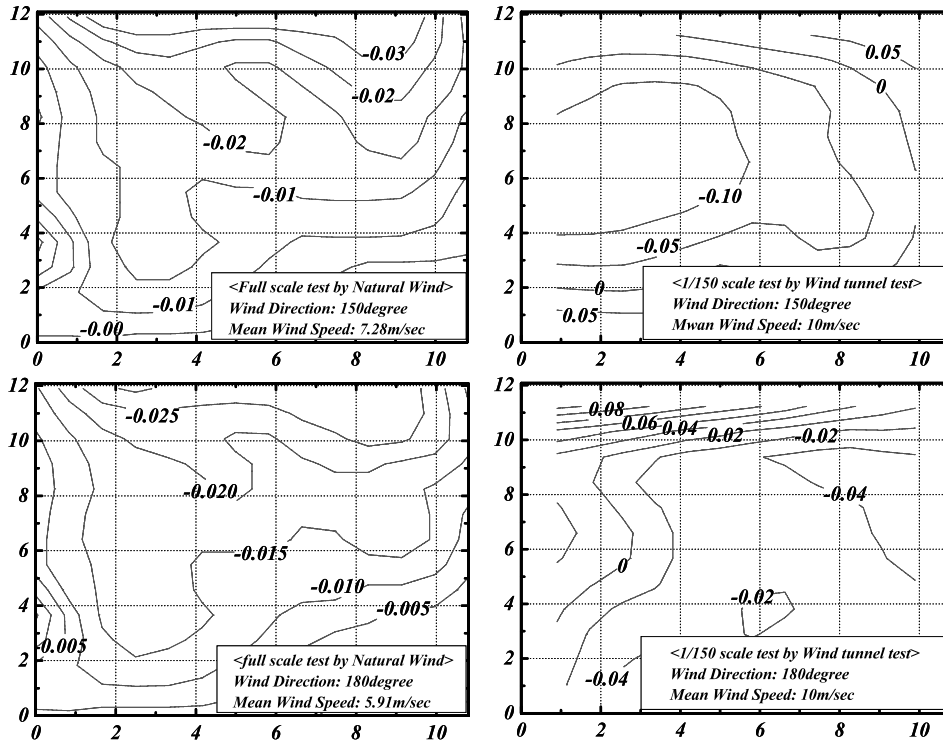


Fig.10 Influence due to trees (unit : m).

明らかである。この結果は、平均風速が風洞実験結果に近い程、実測調査結果を忠実に推定しうる、とする先程の検討結果(風速の違いによる影響に関する結果)と矛盾する結果である。なぜならば、150°の場合(平均風速:7.28m/sec)の方が、180°の場合(同:5.91m/sec)よりも風速が大きく風洞実験における平均風速(同:10m/sec)に近いからである。

これらの結果をまとめると、現実には生じる風向変化について風洞実験では考慮できないとしても、大局的な見地から見れば、風洞実験により実測調査結果が推定可能であること、そしてより忠実な再現を行うためには、平均風速のみならず、模型化の困難な樹木についても忠実な再現が必要であると判断できる。とはいえ、本研究のように実験対象と同程度の大きさの樹木が多く存在する場合には、樹木による防風効果を忠実に再現するために、その高さのみならず、枝葉の量などを適切に模型化する必要があると考えられる。しかしながらそのような模型化は現実問題として極めて困難であるから、結局このような影響が大きい風向における足場の分布性状は、風洞実験により推定することができないと判断できる。その一方で、樹木の影響を受けない風向の場合(例えば風向180°)においても、風洞実験により詳細な推定ができない結果も得られている。この原因は足場に生じる風荷重の絶対値自体が小さいためであると考えられる。すなわち(風速に拘らず)ロードセルに生じる風荷重自体が小さい場合では、風向変化の影響や模型化の誤差の影響、その他様々な誤差の影響を受けやすくなると考えられるためである。

以上のことから実測調査結果は、定性的には風洞実験結果により推定可能であり、また模型化が難しく局所的な影響を無視しえない場合(樹木等の影響が極めて大きい場合)でなければ、比較的精度良く推定可能であると判断できる。

4. まとめ

本研究により得られた結果を以下に示す。

- 1) 本研究で対象とした足場模型に対しては、実測調査結果は、定性的には風洞実験結果により推定可能であった。
- 2) 局所的な影響が大きい場合であれば、実測調査結果を比較的精度良く風洞実験により推定可能である。
- 3) 風洞実験による実測調査結果の推定では、その平均風速をできる限り等しくすることが必要である。

参考文献

- 1) 日野泰道、大幢勝利、ソルポルポンクムシン、丸田栄蔵、神田亮、「仮設足場に作用する風荷重に関する基礎的研究」、独立行政法人産業安全研究所研究報告NIIS-RR-2002(2003)、2003
- 2) 実務者のための風洞実験ガイドブック、日本建築センター、平成6年6月1日
- 3) 大幢勝利、高梨成次、日野泰道、斉藤耕一、「足場に作用する風荷重の実測調査」、独立行政法人産業安全研究所特別研究報告NIIS-SRR-No31、2005
- 4) 構造物の耐風工学、社団法人日本鋼構造協会、東京電機大学出版局、1997年11月30日
- 5) 大熊武司、神田順、田村幸雄、「建築物の耐風設計」、鹿島出版会、1996年3月30日
- 6) 建築物荷重指針・同解説、日本建築学会、2004年9月15日
- 7) 丸田栄蔵、亀井勇、「建築物周辺気流に関する風洞実験方法(第I報~第3報)」、日本大学生産工学部報告、第14巻第1号、1981年6月
- 8) 上田宏、羽倉弘人、濱田裕史、「強風時の接地境界層の風洞シミュレーション」、千葉工業大学研究報告理工編第46号、1999年

(平成17年4月30日受理)