

仮設足場に作用する風荷重に関する基礎的研究

日野泰道* , 大幡勝利* , ポンクムシン ソンボル** , 丸田栄蔵*** , 神田 亮***

Fundamental Study on Wind Pressure Acting on Temporary Scaffolds

by Yasumichi HINO* , Katsutoshi OHDO* , Songpol PHONGKUMSING** ,
Eizo MARUTA*** and Makoto KANDA***

Abstract: The number of construction accidents has gradually decreased since the Occupational Safety and Health Law was instituted in 1972, and the number of fatal accidents has decreased 30 percent since 1972. However, approximately seven hundred fatal accidents still happen every year. And also, 10 percent of collapse accidents in serious accidents in which 3 or more workers were killed or injured are caused by wind. Especially, not only construction workers but also pedestrians were killed or injured by the collapses of temporary scaffolds due to wind. Therefore, the prevention methods for collapses of temporary scaffolds due to wind should be established.

It is known that not only the wind speed but also the plan shape of structure influences the wind load acting on the structure. At the construction site, the plan shapes of temporary scaffolds and of buildings always vary according to the progress of construction. Therefore, the wind load acting on the temporary scaffolds also varies.

However, the general design method of the scaffolds does not consider the variation of their shapes due to the progress. Especially, the building under construction usually has many open area on the exterior wall, but there are a few studies about the influence of the open area on wind pressure acting on the temporary scaffolds erected alongside of the building under construction. In fact, some collapse accidents happened due to the strong wind blows into the open area.

The purpose of this study is to investigate the fundamental characteristics of wind pressure acting on temporary scaffolds erected alongside of the building under construction which has open area on the exterior walls. The wind tunnel experiments using the scaffolds and building models were conducted investigating the influence of the open area and the wind direction.

From the results of this study, wind pressure acting on the scaffolds which were erected alongside of the building was greatly influenced by existence of the building. Moreover, the open area largely affects the wind pressure acting on the rear side of the scaffolds, while only small influence can be observed on the front side of the scaffolds.

Keywords; Wind tunnel experiment, Wind pressure, Scaffold, Open area on the exterior walls

* 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 Corporation

*** 日本大学生産工学部建築工学科 Department of Architectural Engineering , College of Industrial Technology , Nihon University

1. はじめに

建設現場における労働災害は減少傾向にあるものの、依然として多くの死亡災害が発生している。このうち風に起因する労働災害も多く発生しており、重大災害のうち倒壊災害の約10%が風に起因する災害である^{1), 2), 3)}。特に大規模な足場の倒壊災害が発生した場合には、そこで働く労働者のみならず、一般通行人や交通機関にも大きな影響を及ぼしている。このことから、風に対する足場等の倒壊防止対策を確立する必要がある。

一方、足場に限らず各種構造体に作用する風荷重の大きさは、単なる風速の大きさのみならず、自身の形状や併設する構造物の形状などの違いに大きな影響を受けることが定性的に知られている。これに対し、建設現場で使用される仮設足場や建設途上の建築構造物の建物形状は、施工が進むにつれて刻々と変化するのが通常である。したがって仮設足場に作用する風荷重も、足場と建設物の形状の変化に伴い大きく変化する可能性が高いと言える。

しかしながら現在一般的に使用されている風に対する足場の設計手法⁴⁾では、足場の形状については多少の考慮がなされているものの、併設する建設途上の建築構造物に関する情報についてはほとんど考慮がなされていない。これは、足場に作用する風荷重の把握に関する研究がこれまで余り行われておらず^{5), 6)}、現在においても定量的な知見が得られていないためと推測される。特に建設途上または解体中の建築構造物では、外壁や床スラブに開口部を有する状態が長く続く現場も少なからず見受けられるが、この開口部が足場に作用する風荷重に及ぼす影響について、ほとんど検討がなされていない⁷⁾点に大きな問題がある。実際、この

開口部から強風が吹き込み、足場が倒壊に至った事例^{2), 3)}もみられる。このことから、足場や建設途上の建築構造物の形状の違いが足場に作用する風荷重の大きさに及ぼす影響について定量的に把握する必要がある。

そこで本研究では、このうち建築構造物の外壁の形状として開口部の大きさの違いに着目し、この大きさと風向をパラメータとして風洞実験を実施した。そしてその開口部の存在が足場に作用する風荷重に及ぼす基本的な特性について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 実験対象と実験パラメータ

本研究では、中低層建物の解体工事現場において、この建物に防音パネル付きの仮設足場が併設された状態を基本モデルとして想定した。そこでプロトタイプの足場は12層11スパンとし、建設建物は5層鉄筋コンクリート造建物とした。その具体的な寸法としては、建設建物が幅19.2m、奥行き19.2m、高さ18.9m、足場は幅19.8m、高さ19.8mである。実験では、風洞の断面寸法や風路内の気流の生成状況を考慮して、これを1/150スケールに縮尺したモデルを用いた。Fig. 1に実験で用いた試験体の平面形状と風向の種類を示す。試験体はすべてアクリル製の剛体模型で、解体中の建物のモデルは床スラブ材、外壁材、および天井材で模型化した。一方、足場のモデルは詳細の模型化が難しいため、足場全体を板材として表現した。実験パラメータは、建物の外壁の開口部の大きさと風向である。外壁の開口部は計3種類とした。Fig. 2に外壁の開口部の状況を示す。このうちType-0は外壁に開口部のないもの、Type-50は外壁の表面積の50%に開口部が

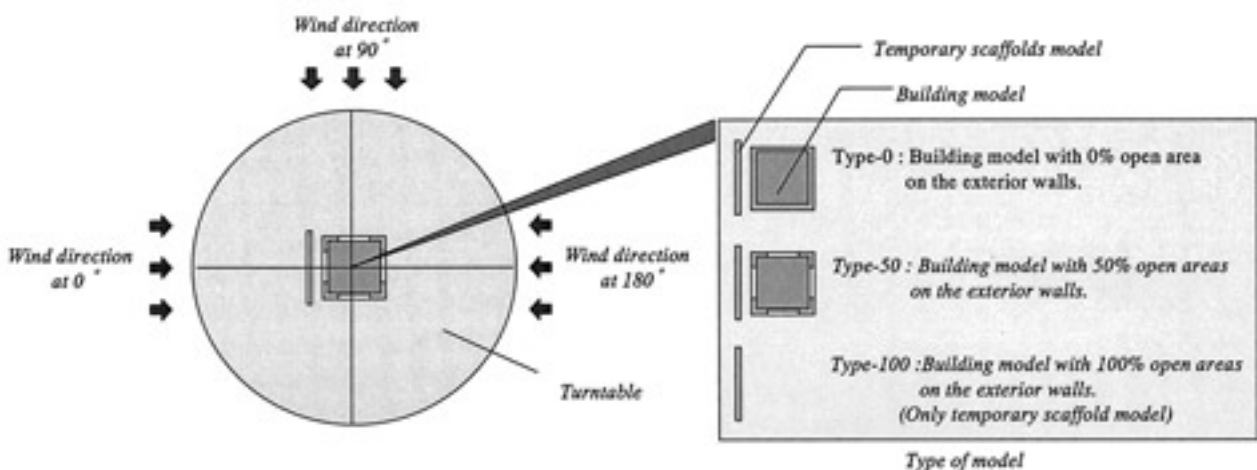


Fig. 1 Type of models and wind direction.
実験に用いた試験体および風向の種類

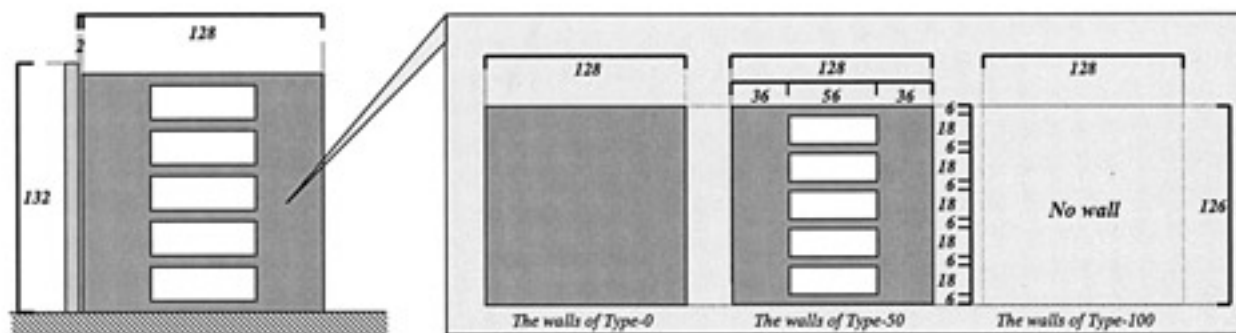


Fig. 2 Shape of exterior walls (unit: mm)
建設建物の外壁の形状

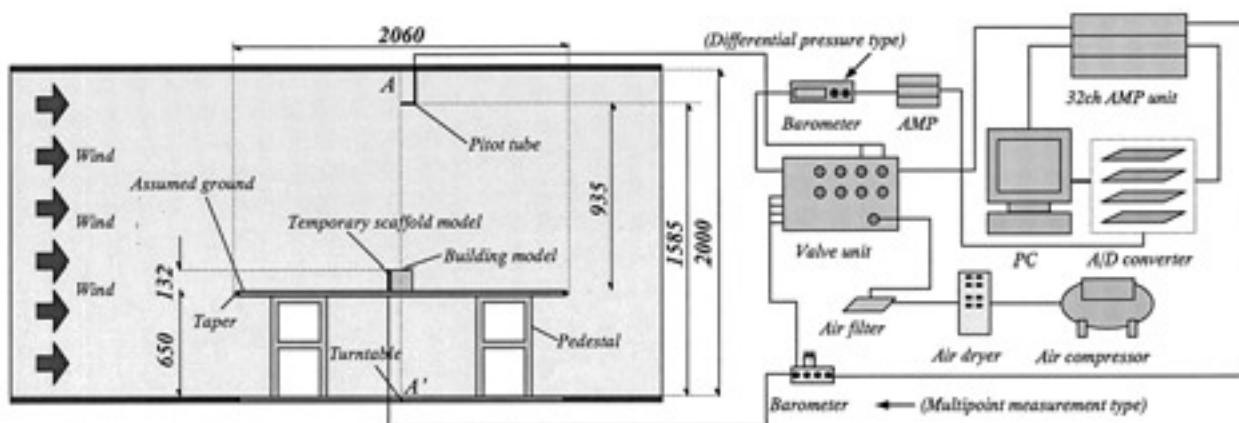


Fig. 3 Experimental configuration (unit: mm)
実験システムの概念図

あるものである。なお、建物の外壁は4面ともすべて等しいものとした。また、Type-100は100%の表面積で開口部があるもの、すなわち独立足場である。風向は計7種類とし、ターンテーブルを用いて0から180度まで30刻みで実験を行った。

2.2 実験設備

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ゲン型風洞と呼ばれている。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。Fig. 3に本研究で使用した実験システムの概念図を示す。通常はターンテーブルに直接模型を設置して実験を行うのが一般的であるが、本研究では、後述するように風の鉛直分布として一様流を使用した。そのため、一様流分布を生成する目的で図に示すように仮定の床面を風洞内へ新たに増設し、この床面を高さゼロとして実験を行った。

2.3 実験時における気流特性

実験時における風洞内の気流特性は、自然風の特性を考慮せず、風速の鉛直分布が一定である一様流とした。これは、本研究では基本的な特性を把握することを主目的としているためである。Fig. 4に仮想床の模型設置予定位置（Fig. 3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示す。その気流特性は、境界層高さが仮想床より約30mmの高さ、乱れ強さは境界層高さ以上の高さで1%未満となっており、ほぼ一様流の気流特性が再現できていることがわかる。

2.4 計測方法とその評価方法

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圧力計測には、多点圧力計（ZOC 23-B：株式会社 大手

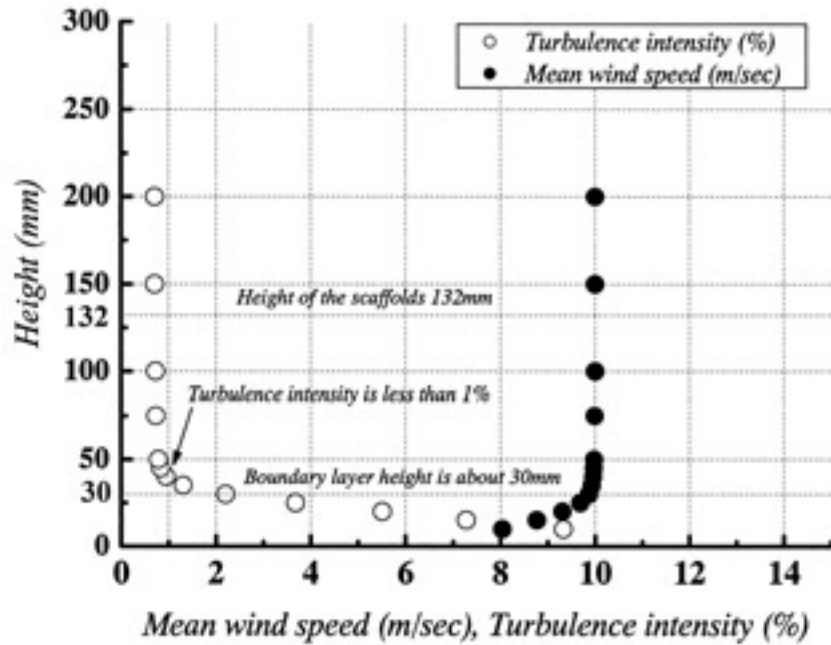


Fig. 4 Mean wind speed and turbulence intensity profile above the assumed ground surface.
 仮想床表面付近における鉛直方向の平均風速分布および乱れ分布

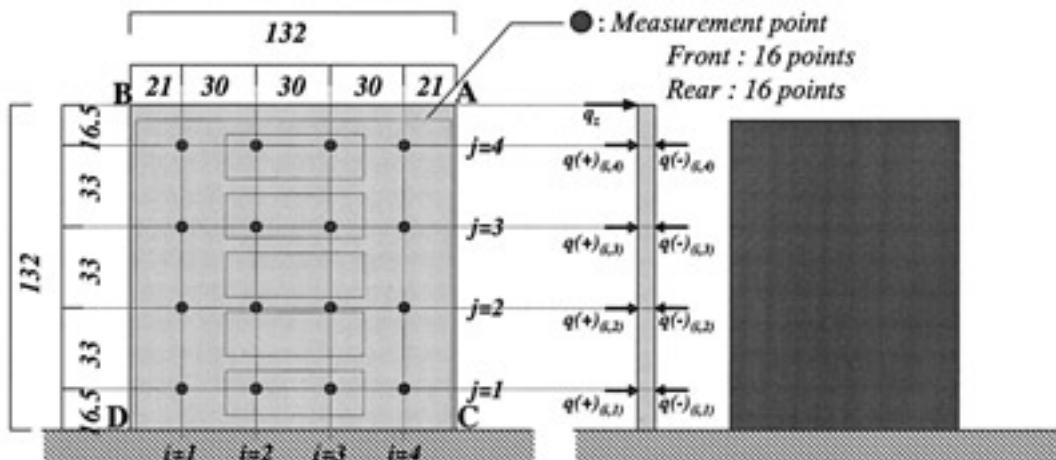


Fig. 5 Measurement points of wind pressure on the scaffolds (unit:mm)
 足場に作用する風圧力の測定位置

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、ピトー管を介して得た高さ1585mm(仮想床から935mm)での平均風速が、足場頂部の高さ(仮想床から132mm)での平均風速と変わらないことを模型の設置前に確認している(Fig. 4参照)ことから、この計測データをそのまま足場の頂部高さにおける平均風速として使用している。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. 5に示す16点(裏表併せて合計32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。

$$C_{p(i,j)} = C_F(+,j) - C_F(-,j) \tag{1}$$

$$C_{R(+)\delta,j} = \frac{Q(+)\delta,j}{qz} \quad (2)$$

$$C_{R(-)\delta,j} = \frac{Q(-)\delta,j}{qz} \quad (3)$$

ここで、

$C_{R(i,j)}$: (i, j)点における無次元化平均風圧力 (以下, 風圧係数と呼ぶ)

$C_{R(+)}C_{R(-)}$: 正面側 (または背面側) の無次元化風圧力

qz : 足場頂部における平均風速

$Q(\pm)\delta,j$: 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

3. 実験結果と実験結果の検討

3.1 実験結果

Fig. 6 に $C_{R(i,j)max}$ と風向の関係を示す。この $C_{R(i,j)max}$ は風圧係数 $C_{R(i,j)}$ の最大値であり、計測データ (16点の各平均値) のうち最も大きな値をプロットしている。

まずType-0 (図中の 印) とType-50 (図中の 印) の関係について見てみると、風向0 では若干Type-0 がType-50より大きいものの、風向90 までは風向変化に対する風圧係数の変化の傾向が似ている。そして90 から180 へ風向の角度が増すに従い両者に大きな差が生じていることが分かる。一方Type-100 (独立足場: 図中の 印) では、風向90 を基準として時計回りまたは反時計回りに風向が変化した場合、その風圧係数の絶対値がほぼ等しい傾向を示しており、他の2つのTypeとは異なる傾向を示している。この違いについて説明したのがFig. 7 である。つまりType-100 では、風向90 を基準とした場合、時計回りまたは反時計回りに同じ角度だけ回転したときの平面形状は、Fig. 7 に示す回転軸に対して線対称の関係にある。これに対してType-0 やType-50ではFig. 7 から分かるように、風向90 を基準としてその回転軸回りに線対称の平面形状とはなっていない。なぜなら、これらのTypeでは足場のみならず建物が存在するためである。つまりこのことは、足場のみならず建物を含めた平面形状の違いが、足場に作用する風荷重に影響を与えたことを示していると言える。

以上のことから、足場を併設する建物の存在は、足場に作用する風荷重に大きな影響を及ぼすこと、そしてこの影響は、足場と建物を考慮した平面形状の違い

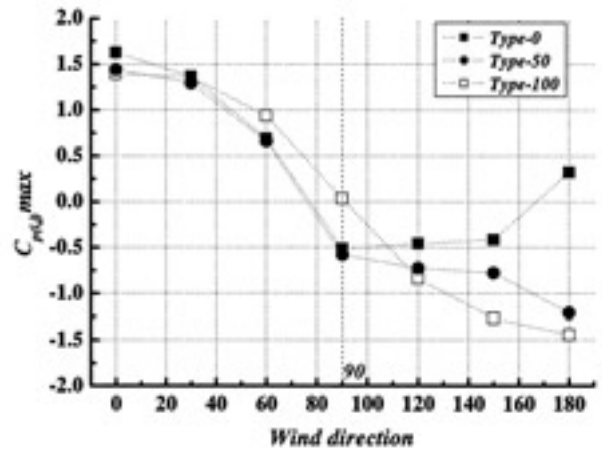


Fig. 6 (a) Relation between $C_{R(i,j)max}$ and wind direction.
 $C_{R(i,j)max}$ と風向の関係

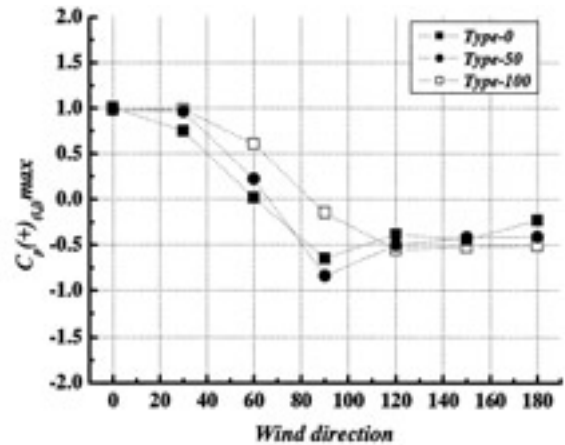


Fig. 6 (b) Maximum wind pressure on front side of the scaffolds.
足場の正面側から作用する無次元化風圧力

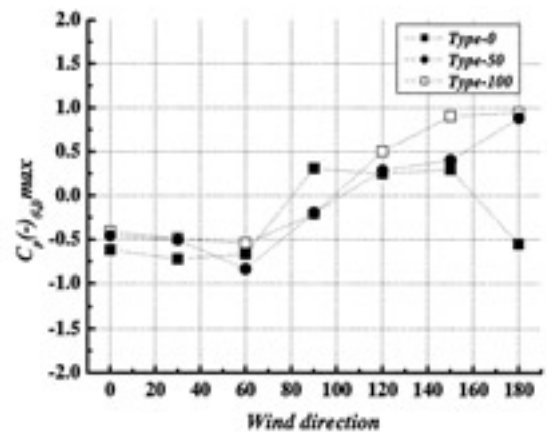


Fig. 6 (c) Maximum wind pressure on rear side of the scaffolds.
足場の建物側から作用する無次元化風圧力

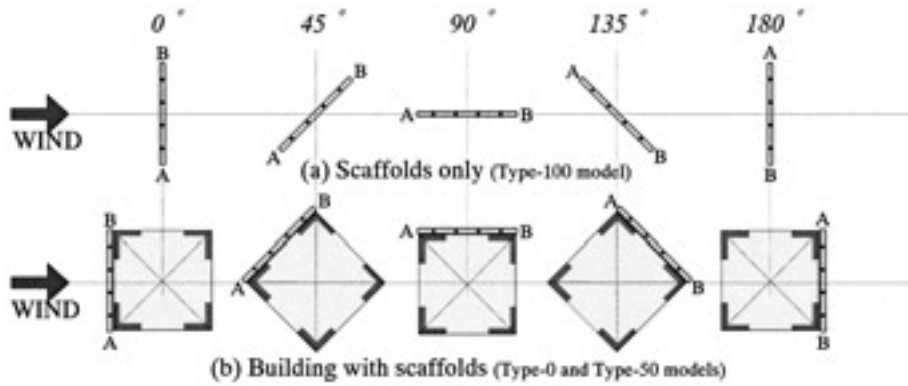


Fig. 7 Difference of plane shapes for different models at each angle.
各Typeの各風向における平面形状の違い

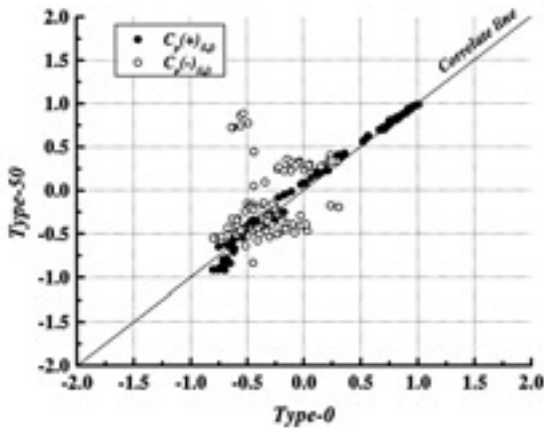


Fig. 8 Relation between correlate line and the data of $C_f(+)$, $C_f(-)$
 $C_f(+)$, $C_f(-)$ と相関直線との関係

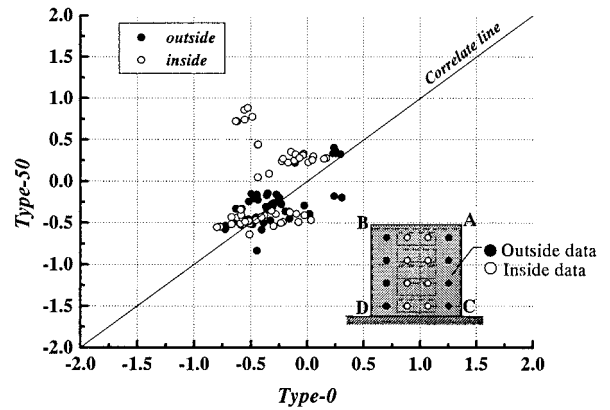


Fig. 9 Relation between correlate line and inside or outside data of $C_f(-)$
 $C_f(-)$ のinsideおよびoutside dataと相関直線との関係

として評価できる可能性のあることが明らかになった。
次にType-0とType-50の違いを明確にするため、Fig. 6およびFig. 6に $C_f(+)$ max, $C_f(-)$ maxと風向の関係を示す。この $C_f(+)$ maxおよび $C_f(-)$ maxは $C_{R(i,j)}$ maxが発生した位置における足場の正面側および背面側に発生した風圧係数で、 $C_f(+)$ maxは足場の外側で発生した風圧係数、 $C_f(-)$ maxは建物と足場との間の空間において発生した風圧係数である。図より $C_f(+)$ maxは風向の変化に拘わらず両者でほとんど等しい値となっており、その違いは主に $C_p(-)$ maxにおいて発生していることが分かる。

3.2 実験結果の検討

Fig. 6に見られたType-0とType-50に関する定性的な傾向をより明確にするため、Fig. 8に全風向、全計測点での $C_f(+)$, $C_f(-)$ に関するType-0とType-50の関係を示す。ここで $C_f(+)$ は足場の外側で

発生した無次元化風圧力（以下、正面圧と呼ぶ。：図中の印）、 $C_f(-)$ は建物と足場との間の空間で発生した無次元化風圧力（以下、背面圧と呼ぶ。：図中の印）である。また図中には $y=x$ の直線、すなわちType-0とType-50の実験値が等しい関係を示す相関直線を併せて示した。Fig. 8より、正面圧（印）は風向および計測位置に拘わらず、ほぼ $y=x$ の直線式と一致しており、Type-0とType-50の実験値はほぼ等しいことが分かる。このことは、正面圧は建物の外壁の開口部の存在の有無に影響をほとんど受けないことを示している。一方背面圧（印）について見てみると、 $y=x$ の直線式とはあまり相関がみられず、結果には大きなばらつきが見られることが分かる。このことから、その開口部は背面圧にのみ影響を及ぼすこと、そしてそれは大きな影響を及ぼす場合とそうでない場合に分類されることが分かる。そこでこの分類方法を明らかにするため、一つの試みとして、計測点の違いで分類した結果をFig. 9に示す。具体的にはFig. 9の

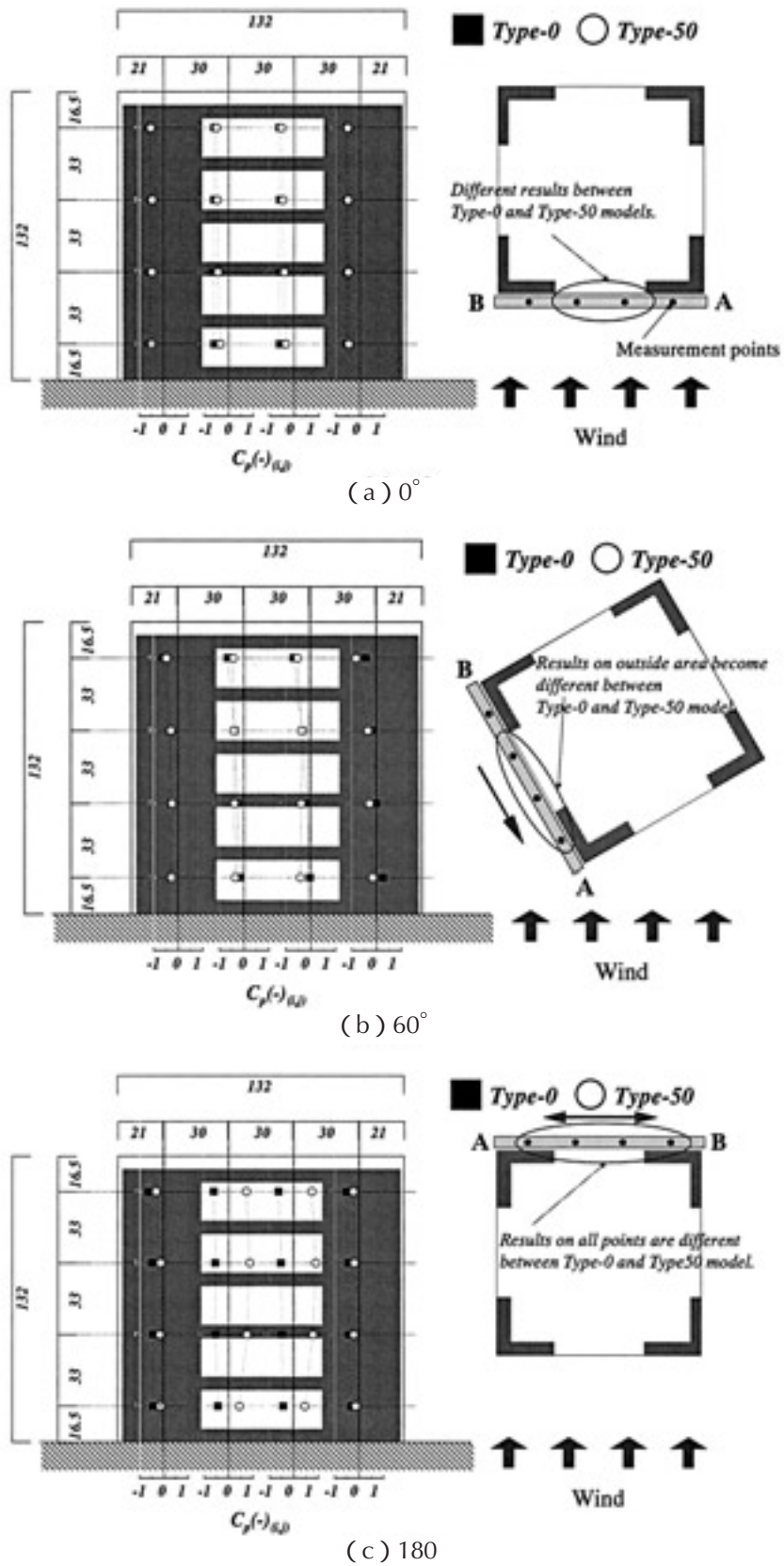


Fig. 10 $C_p(\cdot)$ at each point for Type-0 and Type-50 models.
各点におけるType-0およびType-50の $C_p(\cdot)$

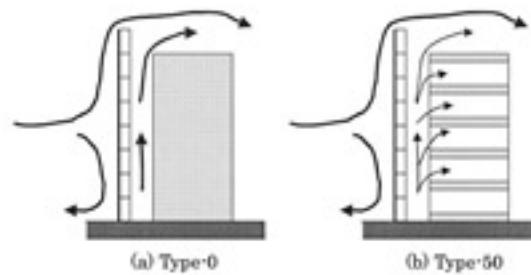


Fig. 11 Wind current between the scaffolds and the building (0°)
足場および建物周辺の風の流れ (風向 0° の時)

凡例に示したように、風向 0° の時、計測点が外壁の開口部付近にあるかどうかで2種類に分類を行っている。図より、開口部から離れた計測点の実験結果（以下、outsideと呼ぶ：図中の○印）は、開口部付近の結果（以下、insideと呼ぶ：図中の●印）と比較すれば、相対的には $y = x$ の直線式に近い値となっているものの、いずれもあまり一致しているとは言えず、この分類方法では、ばらつきが大きいことが分かる。このことから、この開口部による影響は、単に風向 0° のときの開口部と計測点との位置関係では決まらないことが分かる。そこで、その分類方法について更に分析を行うため、Fig. 10、11、12に風向 0° 、 60° 、 180° における各計測点での背面圧 C_p (-) を示す。Fig. 10より、 0° の時の違いはおおよそinsideで発生していることが分かる。しかし風向が 60° になると、両者に違いが発生する領域が足場中央部から右側へ変化していることが分かる。そして風向 180° の時には、insideのみならずoutsideまで違いを生じていることが分かる。ここで文献7によると、建物に併設された足場に作用する風圧力は独立足場の場合と比較して増大することを指摘している。そしてその理由として、以下の原因を挙げている。つまりFig. 11に示すように、建物の存在により建物-足場上空を流れる風が建物と足場の間の空気を引っ張り上げるため、その間の空間に大きな引張力を発生させ、結果的に背面圧が大きくなるとしている。この知見からFig. 10の結果について考えてみると、Type-50のinsideがType-0より小さい理由は、Fig. 11に示すように外壁の開口部が足場の背面に発生する引張力を分散させるためだと推測される。このことから C_p (-) の値は、上空の風によって足場と建物の間の空間に発生する引張力を分散できるような開口部が、風向に対して計測点が背面にあるかどうかで変化すると考えられる。この知見を踏まえてFig. 10を見てみると、insideのデータに加えてoutsideのデータである右端（A点側）の計測点では、 0° からの風向変化に伴い背面に外壁の開口部が位置しており、この影響でこの計測点の背面圧に違いが生じたものと推測さ

れる。一方風向が 180° の場合には、Fig. 10に示すようにすべての計測点にて違いが発生している。これは、風が建物を通り抜けて足場に衝突しそれを足場が受け止めたものの、圧力の逃げ場がないため各方向へその影響が波及したためと考えられる。

以上のことから、建物の外壁の開口部の存在は仮設足場に作用する正面圧には影響をあまり及ぼさず、背面圧に大きな影響を及ぼすこと、そしてそれは、風向に対して背面に開口部がある箇所付近に影響を及ぼすことを明らかにした。また、L型の平面形状に足場を組み立てた場合など、より風をはらみやすい形状を足場が有する場合には、非常に大きな風圧力が作用する可能性が推測されるため、この影響を考慮した足場の設計法の確立が必要である。

4. まとめ

本研究により得られた結果を以下に示す。

- 1) 仮設足場に作用する風圧力は、併設する建物の存在に大きな影響をうける。そしてその影響は、足場に建物を考慮した平面形状の違いとして評価できる可能性がある。
- 2) 足場に作用する風圧力はまた、建物の外壁の開口部の存在に大きな影響を受ける。
- 3) 建物の外壁の開口部の存在は、足場に作用する正面圧にはあまり影響を及ぼさず、背面圧に大きな影響を及ぼす。
- 4) 風向に対して背面に開口部がある箇所付近で、背面圧は大きな影響を受ける。

参考文献

- 1) 建設業災害防止協会、「建設業安全衛生年鑑」,2001.
- 2) 日野泰道, 大嶋勝利, 米山義範「風に起因する労働災害の傾向と問題点の分析」日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp.891-890, 2001.
- 3) Yasumichi Hino, Yoshinori Yoneyama and Katsutoshi Ohdo, " Causes and Problems of Construction Accidents due to Wind ", Proceedings of the 5th

Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, Kyoto, pp.373-376, 2001.

- 4) 仮設工業会, 「改訂: 風荷重に対する足場の安全技術指針」, 1998.
- 5) 吉田正邦, 眞田早敏, 本郷剛, 中村修 「建設現場に設置された養生シート及び防音パネルに作用する風荷重に関する実験的研究」鹿島建設技術研究所年報第28号, pp.129-136, 1980.
- 6) 森宣制, 河尻義正, 木下釣一, 小川勝教 「強風に
- 対する足場等の安全対策」労働省産業安全研究所特別研究報告 NIIS-SRR-81, 1981.
- 7) E.J.Hollins, “ Measurement of wind forces on net covered temporary scaffolds ”, Structural Safety & Reliability, pp.1639-1646, 1994.
- 8) 日本風工学会風災害研究会 「強風災害の変遷と教訓」 pp.69-76, 2000.

(平成14年12月27日受理)