

4. 仮設足場に作用する風荷重の評価方法に関する検討

日野泰道*, ポンクムシンソンポル**

Study on the Estimation Method of Wind Pressure Acting on the Temporary Scaffolds

by Yasumichi HINO* and Songpol PHONGKUMSING**

Abstract; Temporary scaffolds are usually attached to buildings under construction. Also, construction companies take into account safety and sound insulation by using scaffolds with mesh sheets or sound proof panels. However, collapse accidents of scaffolds due to strong wind happen every year. These accidents involve not only the construction workers and also pedestrians. These accidents also have a deleterious effect on public transportation, e.g. closing streets and business activities. Therefore, it is necessary that strict countermeasure to prevent scaffold collapse should be imposed.

Most scaffolds that are erected, are based on some kind of design method for temporary scaffolds. But most of the design methods do not take into consideration the fact that buildings under construction have some holes on the exterior walls. According to the disaster researches, some collapse accidents happened due to the strong wind blows into the holes. Therefore, it is necessary to investigate the wind effects.

In this study, the fundamental characteristics of wind pressure acting on temporary scaffolds erected alongside of the building under construction, were investigated. And also, the design method considered the holes in the exterior walls and the difference of the shape of temporary scaffolds was proposed.

From the result of this study, fundamental characteristics of wind pressure acting on scaffolds were shown clearly. And the design method for temporary scaffolds was proposed based on the results of this study. The based data for the proposed design method are shown as follows.

- 1) Wind pressure acting on the outside of the scaffolds, C(+) can be estimated by considering the depth of buildings under construction, and it can be estimated by existing wind-resistant design method usually used for exterior walls
- 2) Wind pressure acting on the inside of the scaffolds, C(-) should be divided into 2 types by wind direction façade (from 270 to 90degree) and backside (from 90 to 270degree).
- 3) In case, that the wind direction is façade, the maximum value of C(-) occurs at the upper area, and it is affected by the existence of the buildings under construction, but most of the value of C(-) is not affected by the holes in the exterior walls.
- 4) In case that the wind direction is backside, the value of C(-) is affected by buildings, values of C(-) increase pro rata in relation to the hole size of exterior walls, and finally C(-) becomes nearly equal to the value and distribution of the only scaffolds model if the hole size nearly equal to the wall size.

Keywords; Keywords; Wind-resistant design, 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

建物の施工時においては、施工中の建物に併設して足場を設けることが一般的に行われる。また足場には防音パネルやメッシュシート等が設置され、それらの使用により工事による騒音防止や物の落下防止など、現場周辺環境への配慮がなされる。しかしながら、強風に起因して足場が倒壊する災害が毎年発生しており、これにより建設労働者のみならず、一般歩行者を巻き込む災害が発生したり、公共交通機関の機能を著しく低下する等、結果として建設現場の周辺環境に悪影響を与える場合も見られている。このことから、足場の倒壊防止のための対策を各現場において徹底することが必要である。そのため建設現場では、文献1や文献2を用いる方法、あるいはこれらを基本として更に基準を厳しくした社内規定などにより、足場の耐風設計が行われており、強風に対する安全性を考慮した設計、そしてそれに基づく足場が数多く組み立てられている。しかしながら、このような設計に基づかない足場が施工されている場合も見られる。

ところが施工中の建物は、施工の進捗状況の違いにより様々な形状のものとなり、またそれに併設される足場の形状、配置状況も様々な場合が考えられる。そのため、従来の足場の設計手法では、施工段階におけるこのような違いを考慮したものになっていない場合が多い。特に施工途上の建物の外壁に有する開口部の影響や、足場の配置状況の違いについては、これまで議論がされてこなかったように思われる。この点につき、建物の開口部に風が吹きこんだこと、あるいは足場の

設置状況が風をはらみやすい形状となっていたこと等により足場に作用する風荷重が増大し、足場が倒壊に至ったと推測される事例も見られる。

そこで本研究では、足場の設置状況の違い、および建物の外壁部の開口部の存在による影響を明らかにし、これらの影響を考慮した足場の耐風設計手法について検討を行った。

2. 風洞実験の概要

Fig.1に実験対象としたモデル、Table1に実験パラメータを示す。実験パラメータは、足場の設置状況の違いとして4種類 (Fig.1(a))、外壁の開口部の大きさとして4種類 (Fig.1(b))、風向として24種類であり、独立足場の検討を併せて計408ケースについて実験を行った。当該モデルは、風洞実験室で再現できる最大寸法の縮尺率として1/150のモデルを採用し、文献2による理論値を目標として気流の生成作業を当研究所風洞実験室において行った。

Table1 Experimental parameters.

実験パラメータ	内容	計
足場設置状況の違い	1面のみ (I-model)	4種類
	2面設置 (L-model)	
	3面設置 (U-model)	
	4面設置 (O-model)	
外壁の開口部の大きさ	外壁の表面積に換算して0%, 25%, 50%, 75%	4種類
独立足場	1面のみ (SCF model)	1種類
風向	0° ~ 360° を 15° 刻み	24種類

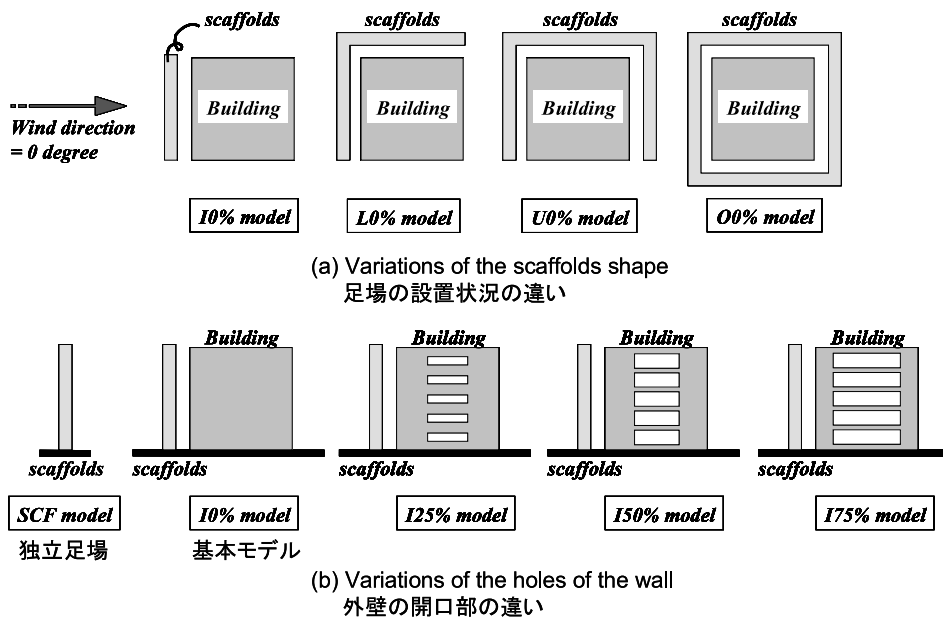


Fig.1 Experimental Model.

Fig.2に模型設置位置(ターンテーブル中央)における気流分布の実験値(丸印)と理論値(点線)を比較して示した。Fig.2より、生成した気流は理論値と良い対応を示していることが分かる。なお気流の生成作業では、文献3と同様、文献4, 5などを参考にして、ラフネスブ

ックおよびスパイヤーの設置位置、個数等の概算値を求め、それを10%モデルとして最終的な微調整を試行錯誤することにより行った。最終的なラフネスブロックおよびスパイヤーの設置位置をFig.3に示す。

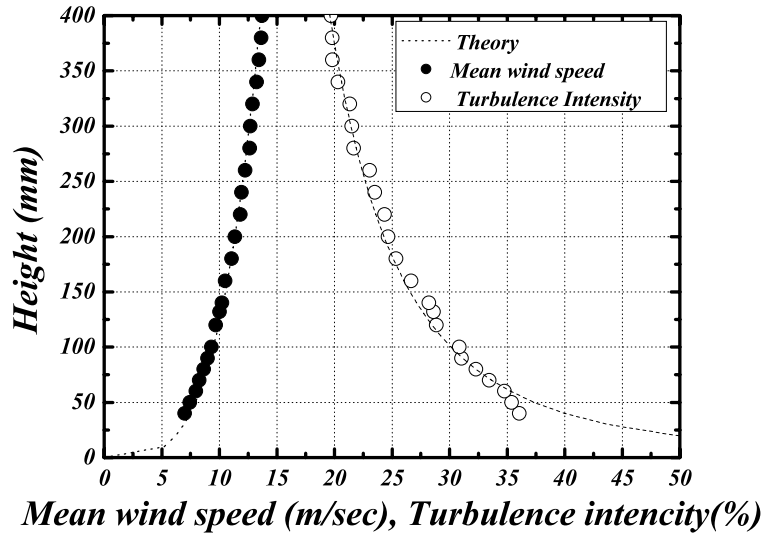


Fig.2 Mean wind speed and turbulence intensity profile.

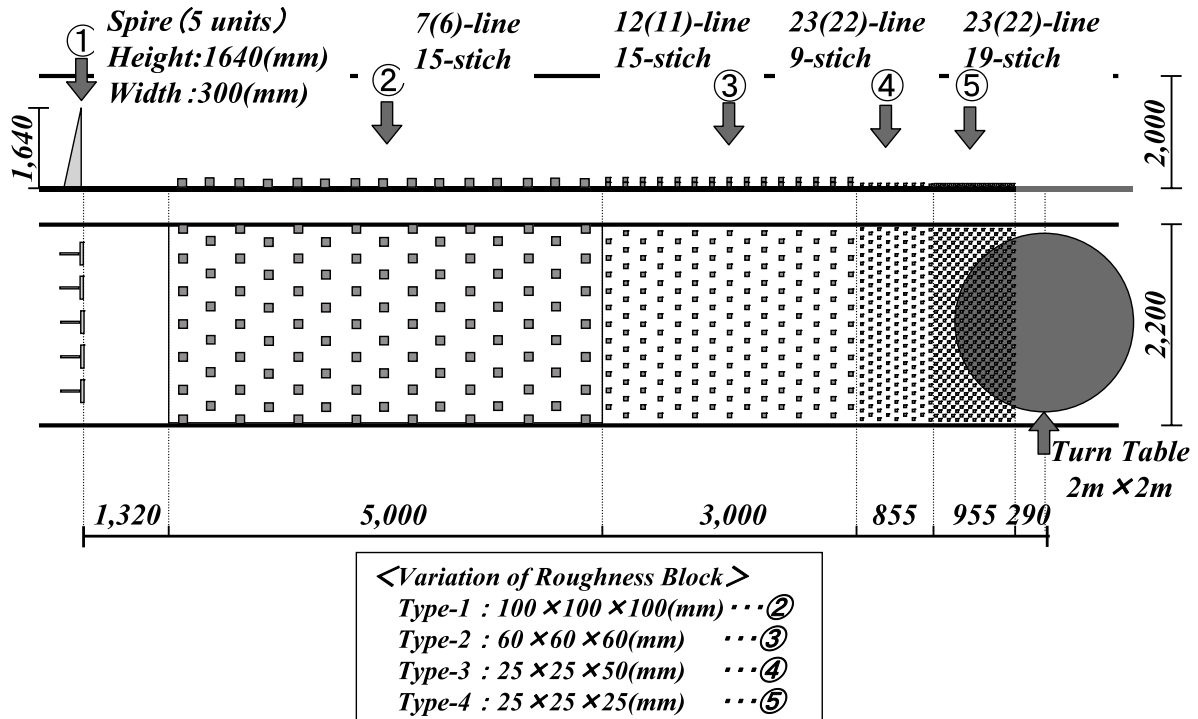


Fig.3 The setting point of roughness block and spire.

3. 計測方法とその評価方法

本研究で使用した実験・計測システムは、文献3と同じであり、本実験での計測項目は、風洞内における平均風圧力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圧力は、足場の頂部高さにおける風圧力で代表させるものとした。なお、この平均風圧力は、ピトー管を模型の頂点高さと同じ高さに設置して計測した。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.4に示す61点 (裏表併せて合計122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、以下の検討においては、風圧力を無次元化した指標に基づいて分析・評価を行う。すなわち足場の各点に作用する風圧力は、(1)式で表される風力係数Cにより無次元量として表現するものとする。また、風圧力は、足場の正面側に作用する風圧力と足場の背面側に作用する風圧力の和で表されるものであるが、以下では(2)式で

計算された無次元値を正面圧、(3)式で計算された無次元値を背面圧と呼ぶものとする。なお、Fig.4において風圧力を表す矢印は、いずれもプラスの値を計測したときの風圧力の作用方向を示している。

$$C_{(i,j)} = C (+)_{(i,j)} - C (-)_{(i,j)} \quad (1)$$

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

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

ここで、

$C_{(i,j)}$: (i,j)点における無次元化平均風圧力 (以下、風圧係数、または総圧)

$C (+)_{(i,j)}$: 足場の正面側に作用する風圧力を平均風速で無次元化したもの (以下、正面圧)

$C (-)_{(i,j)}$: 足場の背面側に作用する風圧力を平均風圧力で無次元化したもの (以下、背面圧)

q_z : 足場頂部における平均風圧力

$q (+)_{(i,j)}$: 足場の正面側に作用する風圧力の平均値 (Fig.4参照のこと)

$q (-)_{(i,j)}$: 足場の背面側に作用する風圧力の平均値 (Fig.4参照のこと)

(i,j) : 足場各部における計測点の座標

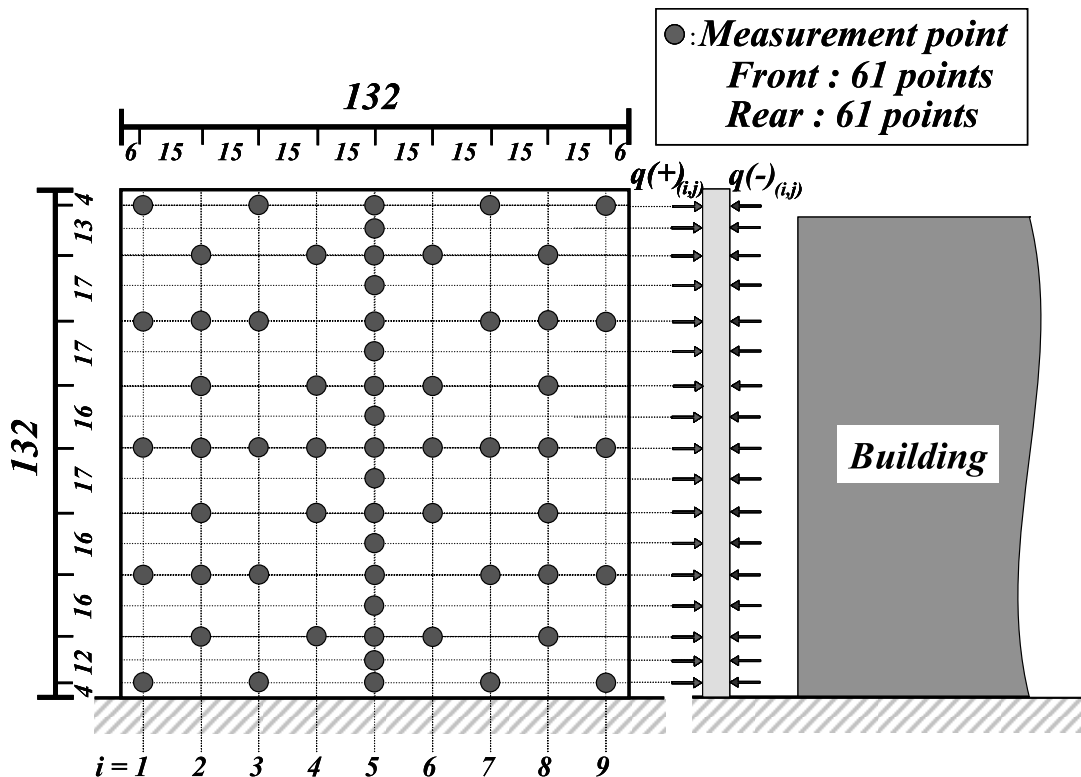


Fig.4 Measurement points of wind pressure on the scaffolds (unit: mm).

4. 実験結果 (風荷重の基本特性)

まず、外壁の開口部の存在により足場に作用する風荷重が増加するのか、更には足場の設置状況の違いにより風荷重が増加するのかを明らかにするため、建物の一面のみに足場を併設したモデル(以下、10%モデル)を基本モデルとして、その他のモデルと比較を行った。

Fig.5は、10%モデルの実験で得られた足場の各圧力計測点における風圧係数Cと、開口部を有する建物に足場が併設したモデル(I25%~I75%モデル)、および足場の設置状況を変化させたモデル(SCFモデル、Lモデル、Uモデル、Oモデル)の風圧係数Cとの関係を示したものである(風圧係数は、前章の(1)式により算出した)。すなわちこの図は、建物外壁の開口部の大きさ、風向、足場の設置状況の違いを変動因子とした風洞実験結果をすべて同一の図にプロットしたものである。この図において○印が $y=x$ の直線上にプロットされた場合、これら変動因子による風圧係数に対する影響はなく、10%モデルと実験値が一致することを意味するのであるが、図から分かるように、当該直線上にない○印が多く存在しており、10%モデルと実験結果は一致しない場合が多いことがわかる。特に図中に示した危険領域(Unsafety Zone)に○印が多く見られる点は、注目し値する。すなわちこの領域内のデータは、すべて10%モデルの実験結果を上回る風荷重が作用したことを示しているからである。このことから、これら変動因子を考慮した設計用風荷重を用いて足場の設計を行う必要が

あると判断できる。

また図中の最大値に注目すると、プラス側の風圧係数(これは、足場を建物側へ押し倒す方向に風圧力が作用した場合、すなわち壁つなぎに圧縮力が作用する場合に相当する。)は、10%モデルと他のモデルでほとんど違いがなく、風圧係数は約2.0であるのに対し、マイナス側の風圧係数(これは、足場を建物から引き離す方向に風圧力が作用した場合、すなわち壁つなぎに引張力が作用する場合に相当する。)は、他のモデルの方が10%モデルより大きな値となっている(1.15が1.75に増大した。：約1.5倍)ことが分かる。なお、風圧係数がプラスになるかマイナスになるのかは、主に風向の違いに依存するところが極めて大きかった。このことから、風向の違いを考慮しながら、当該変動因子の違いによる影響を検討する必要があると考えられる。

次に、より細かな検討を加えるため、足場に作用する風圧力を正面圧と背面圧に分けて考えてみることにする。Fig.6に正面圧C(+), および背面圧C(-)をプロットしたものを示す。ただしこの結果では独立足場(SCFモデル)の結果を黒塗り(●印)とし、その他を白抜き(○印)として分けてプロットしている。

正面圧についての両者の関係は、SCFモデルとの関係(●印)においてばらつきが見られるものの、他のモデルとの関係(○印)では $y=x$ の直線上にほぼプロットされており、10%モデルとほぼ等しい値となっていることが分かる。このことから正面圧の大きさは、建物そのものの存在による影響を受けるものの、外壁の開口部の存在、足場の設置状況の違い、風向などの変動因子に

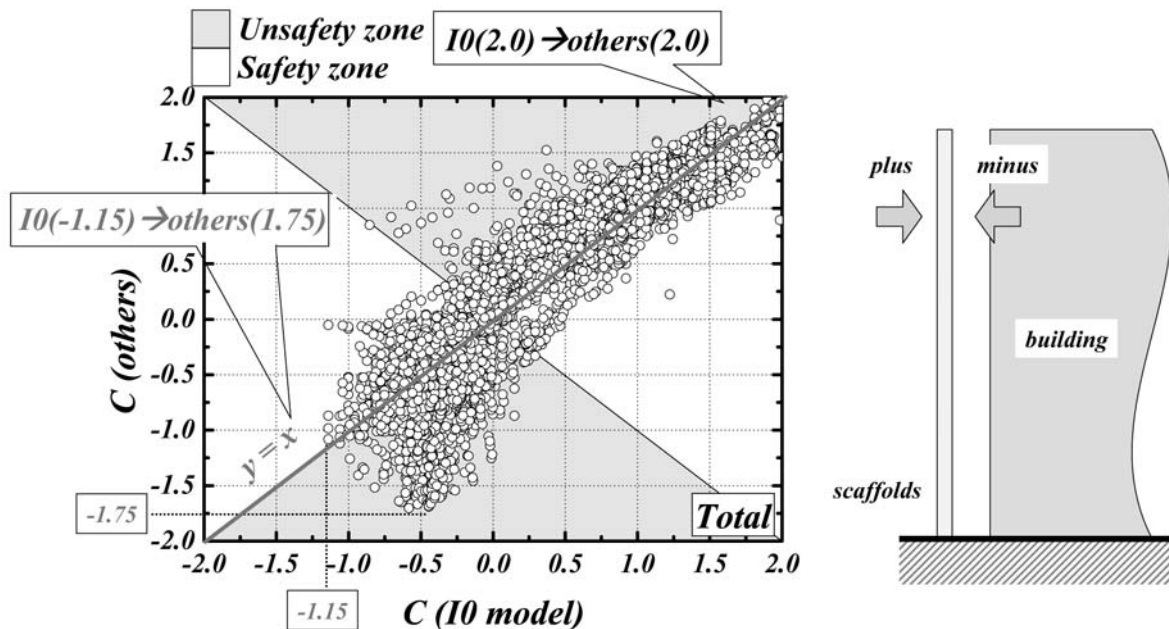


Fig.5 10% and others relation on total wind pressure (C) acting on the scaffolds.

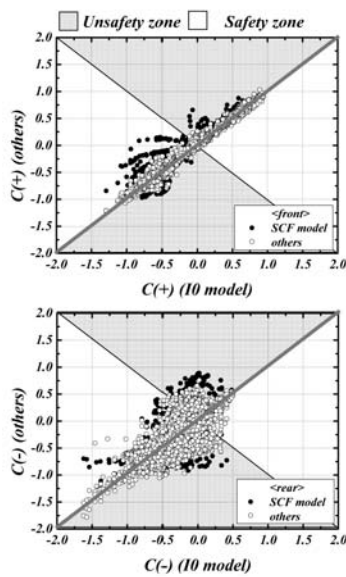


Fig.6 10% and others relation on C(+), C(-).
正面圧および背面圧の比較

影響を受けない安定した物理量であると判断できる。一方、なぜSCFモデルのみ他のモデルと異なる値となったのかについて、以下で考察する。まずSCFモデルにおいても、プラス側では他のモデルとほぼ等しい値(風圧力)となっていることから、その違いは主にマイナス側で生じているといえる。そしてマイナス側でこのような差が生じた原因は、文献6, 7などの知見に基づけば説明可能と考えられる。すなわち文献6, 7では、角柱に抗力の大きさについて、角柱の幅 d と奥行き b の比である辺長比 (d/b) を変動因子として風洞実験を行っており、その結果、辺長比が大きい角柱ほど同一乱流下において抗力が小さくなるという知見を得ている。このことはFig.7のModel-1とModel-2の比較を例にあげて説明すると、要は奥行きの小さいModel-1の方が小さい抗力となることを指摘しているものである。なお抗力とは、風力係数 C に表面積 A と基準速度圧 q_z を掛け合わせたもので表現される物理量 (Fig.7参照)であり、Model-1とModel-2を比較した場合、結局Model-1の背面圧が小さくなることを示していることに他ならない。この知見に基づいて、SCFモデルと10%モデルの背面圧について考えてみると、10%モデルの辺長比を足場の奥行き bs と捉えるのではなく、併設する建物の奥行きを考慮した B と考えれば、当然辺長比は10%モデルの方が小さくなる。そうとすればSCFモデルの背面圧が小さくなったのも納得できると思われる。すなわちSCFモデルの風圧係数が10%モデルより小さめの値となった原因は、併設する建物の奥行きの影響を受けていたためと判断できる。

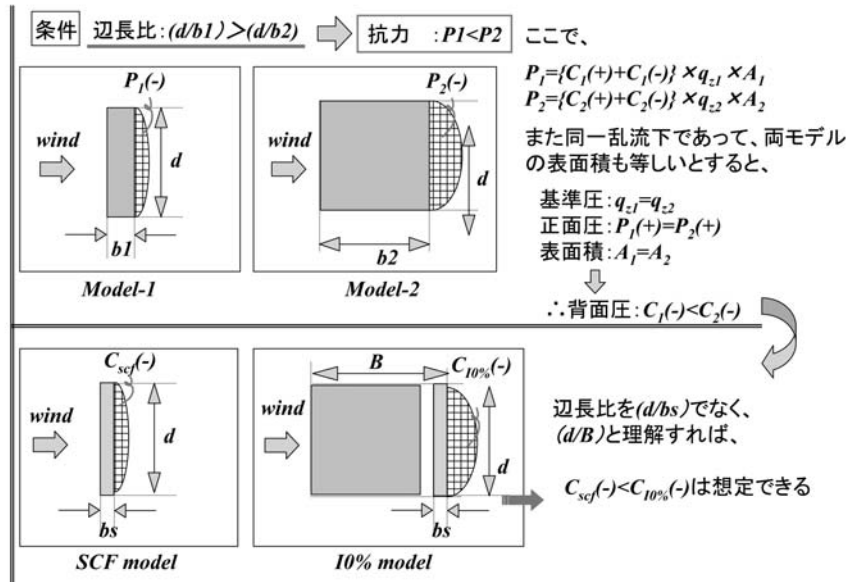


Fig.7 Estimation method of the ratio of (width/depth) on 10% model.
足場が併設されたモデルの辺長比の評価方法

以上のことから、正面圧の大きさは、足場のみならず建物の奥行きを考慮した辺長比の等しいモデルとほぼ等しいと考えられる。なおこの知見は、そのような平面形状を有する建物の外圧係数で評価できることを意味している。これにつき既往の研究では、様々な平面形状の建物モデルを対象とした風洞実験がこれまで数多く行われてきており、その知見を踏まえた外圧係数の評価式が既に確立されている。したがってこの評価式に基づき、建物に併設された足場に作用する正面圧が推定可能であると考えられる。

一方背面圧に関しては、いずれのモデルにおいてもばらつきが大きいことが分かる。そこで次章以降においては、背面圧について詳しく検討を行う。

5. 実験結果の検討

5.1 建物の存在が及ぼす影響

まずは建物の存在による影響を明らかにするため、Fig.8に風向 0° 、 30° および 180° における一面足場(開口率0%:10%モデル)の背面圧の分布特性、独立足場(SCFモデル)の背面圧分布特性、および両者の差を示す。

最初に風向 0° の場合に注目すると、10%モデルは独立足場(SCFモデル)と比較して、足場上方に大きな背面圧が生じる傾向にあることが分かる。その原因についてはFig.9により説明できる。すなわち、10%モデルでは建物そのものの存在により、建物と足場との間にわずかな隙間が発生し、建物上方の強風の影響で、当該隙間の空気が上方へ強風に押し上げられる。これに

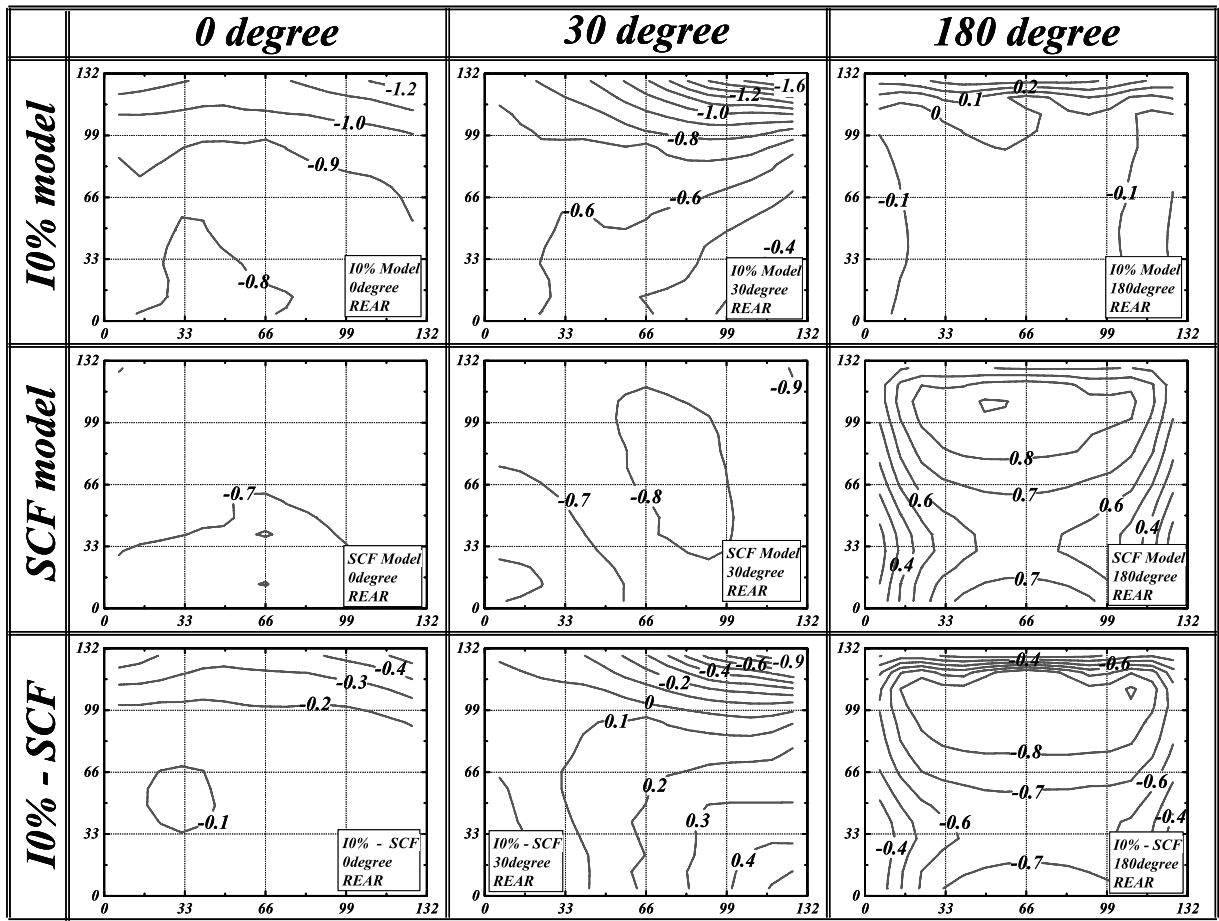


Fig.8 Comparison between I0% and SCF model of C(-).

対しSCFモデルでは、そのような障害物が背面に存在しないため、足場上方の強風による空気の上げは、それほど大きなものとならないため、このような差が生じたものと考えられる。なお、このことは文献8, 9などでも紹介されている。

一方、風向30°の場合では、足場右側が風上となるので、よどみ点が足場中央から右端へ移動する。そのため風圧係数の分布性状として、その最大値は右端上方となるのが推測できるが、実際の風洞実験結果もこの推測と一致する結果となっている。次にその最大値の大きさに着目すると、I0%モデルでは、SCFモデルと比較して極めて大きな風圧力が、右端上方を中心として上方全体で発生していることがわかる。その原因についてもFig.9により説明する。すなわち、I0%モデルでは建物と足場の隙間の風速と建物右側 (Fig.9では下側) を流れる空気との速度差が極めて大きいのにに対し、SCFモデルではこのような速度差がI0%モデルほど大きくないため、このような違いが生じたものと考えられる。ちなみに、この右端上方の風圧力は、風向がモデルに対して鈍角になるに従い小さくなっていった (Fig.10参

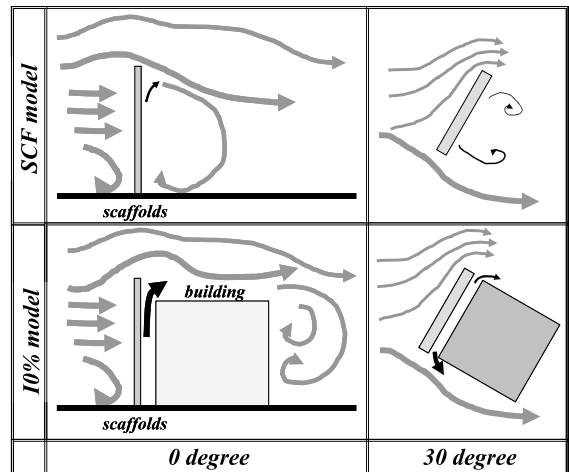


Fig.9 The flow curve around the scaffolds.

照)。これは建物の存在、特に図中のC点が下方へせりだしてくることにより、風の流線に乱れを与える抵抗を生じさせ、これにより建物側面を流れる風速Vが小さくなるため、結果として建物と足場の隙間の空気には引張力が小さくなったと考えられる。このことから、

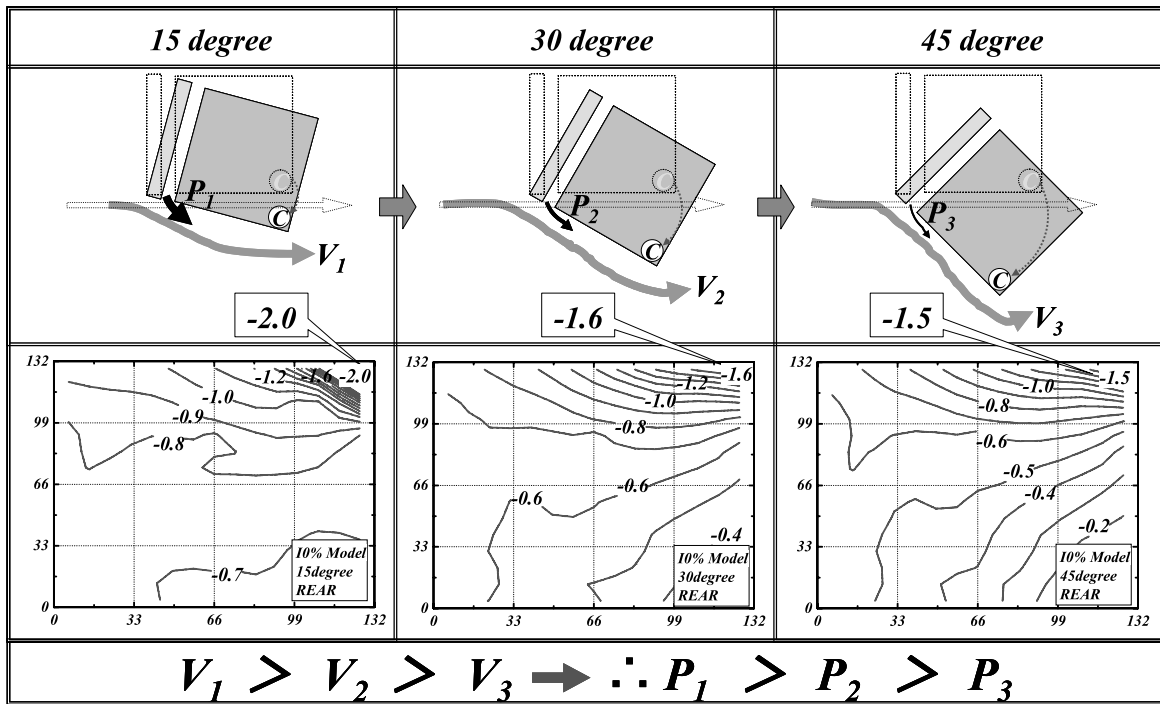


Fig.10 C(-) distributions on different wind direction experiments.

大きな背面圧を発生させる風向とは、足場に対して真正面(風向0°)より若干ずれた風向(例えば風向15°)であると考えられる。

風向180°においては、10%モデルでは小さな風圧力が作用するに過ぎないのに対し、SCFモデルでは大きな風圧力を受けている。これは風向0°における正面圧と等しい風圧力がSCFモデルに作用しているのに対し、10%モデルでは、建物の存在による防風効果が生じているためだと考えられる。なおこの効果は、足場が風を正面から受ける場合(足場を建物側へ押し倒す方向に風圧力が作用する場合に相当し、背面圧はマイナスの値)ではなく、風を背面から受ける場合(足場を建物から引き離す方向に風圧力が作用する場合に相当し、背面圧はプラスの値)で生じていた。

以上の結果をまとめると、足場が風を正面から受ける場合(背面圧がマイナスの場合)では、

- 1) 足場の背面に建物が存在することにより、特に足場上方で背面圧が増大すること
- 2) 足場に対して真正面(風向0°)より若干ずれた風向(例えば風向15°)において、最も大きな背面圧が発生すること

また、足場が風を背面から受ける場合(背面圧がプラスの場合)では、

- 3) 建物の存在による防風効果により、背面圧が大幅に減少することが明らかとなった。

5.2 足場設置状況の違いが及ぼす影響

Fig.11に10%モデル(足場を一面のみ設置したモデル)、L0%モデル(足場を二面設置したモデル)、およびU0%モデル(三面設置したモデル)における背面圧の分布性状を、風向30°および210°の場合について示す。まず風向30°の場合についてみてみると、いずれのモデルにおいても風圧の最大値は右端上方で生じている。これは前節で説明した理由によるものといえる。一方、足場上方以外の風圧分布に注目してみると、L0%モデルは、10%モデルと比較して下方で比較的大きな風圧力が生じていることが分かる。これは図中に示す足場Bの存在により、足場Aと建物の隙間にある空気に蓋をしたような効果を与えたため、足場Bがない場合と比較して大きな引張力を受けたものと考えられる。この傾向は、同様に足場Bを配しているU0%モデルでも表われている。ただL0%モデルを比較すると、全体的にU0%モデルの風圧はL0%モデルより小さい値となっている。これは図中の足場Cの存在により、建物右側を流れる風の当該隙間への影響を防ぐ効果を与えているためと考えられる。

一方、風向210°の場合について見てみると、左側上方で風圧が大きくなる点は、いずれの足場についても共通である。しかし10%モデルでは風圧分布特性がその他のモデルと異なっていること、そしてその最大値も

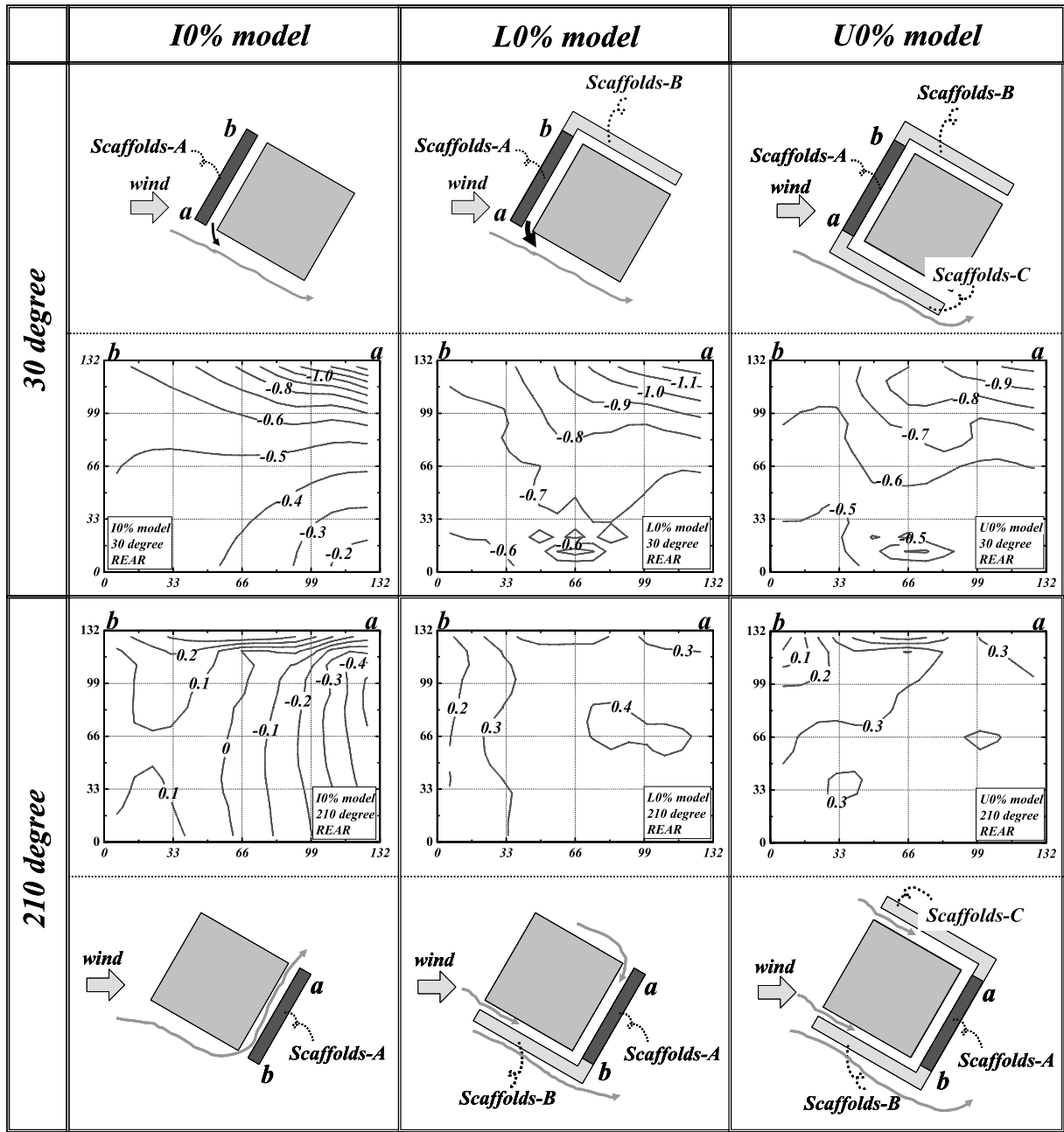


Fig.11 C(-) distributions on different scaffolds model experiments.

他のモデルと異なり、マイナスの値になっている点に違いが生じている。この違いについては、詳しい分析をすることはできない(a点付近は後流に位置し、その周辺の風の様子が不明確なため)が、まずはL0%モデルやU0%モデルでは、足場Bにより足場Aと建物との隙間への風の流入が防護されている点で、10%モデルと大きな違いがある。これに対して10%モデルでは、b点付近でプラスの風圧力(つまり、足場を建物から引き離す方向の力)が作用しているのに対し、a点付近ではマイナスの風圧力(つまり、足場を建物へ押し倒す方向の

力)が作用していることから、これは風上からの風が足場Aと建物との隙間に流入し(Fig.11の概念図参照)。a点からb点に向かって風が流れていると考えられる。したがって、10%モデルと他のモデルの風圧力分布性状の違いは、当該隙間への風の流入の影響であると判断できる。

ところで風向210°の場合では、正面圧は足場を建物から引き離す方向に作用するから、背面圧の大きさが重要なのは、プラスの値の最大値である。なぜならば、背面圧がマイナスである場合には、正面圧と逆方向に

背面圧が作用していることになるので、正面圧と背面圧の和である総圧として考えた場合、風圧力は小さくなり、安全側となるからである。そして当該風向におけるプラスの値の最大値について比較すると、すべてのモデルではほぼ等しい値になっていることが分かる。これらのことから、足場の設置状況の違いによる影響は、風向の違いに拘らずあまり大きいとはいえず、むしろ前節で検討した影響(建物の存在による足場上方の風圧力への影響)が極めて支配的であるといえる。

結果をまとめると、以下のようになる。

- 1) 足場と建物の隙間への風の流入を防ぐように足場が設置されていた場合は、若干の防風効果が期待できる。
- 2) 逆に当該隙間へ流入した風をせき止めるように足場

が配置されていた場合は、風圧力が若干大きくなる。
3) しかし、建物そのものの存在による影響と比較すれば、足場の設置状況の違いによる風圧力の変化はあまりない。

5.3 外壁の開口部の存在が及ぼす影響

Fig.12に10%モデル(外壁の開口部のない建物に併設された足場)と150%モデル(表面積に換算して50%の開口部が外壁にある建物に併設された足場)における背面圧の分布性状を、風向 0° 、 30° および 180° の場合について示す。

まず風向 0° の場合について見てみると、背面圧の最大値が足場上部で発生する点は両者で等しいものの、その値は若干開口部を有するモデル(150%モデル)の

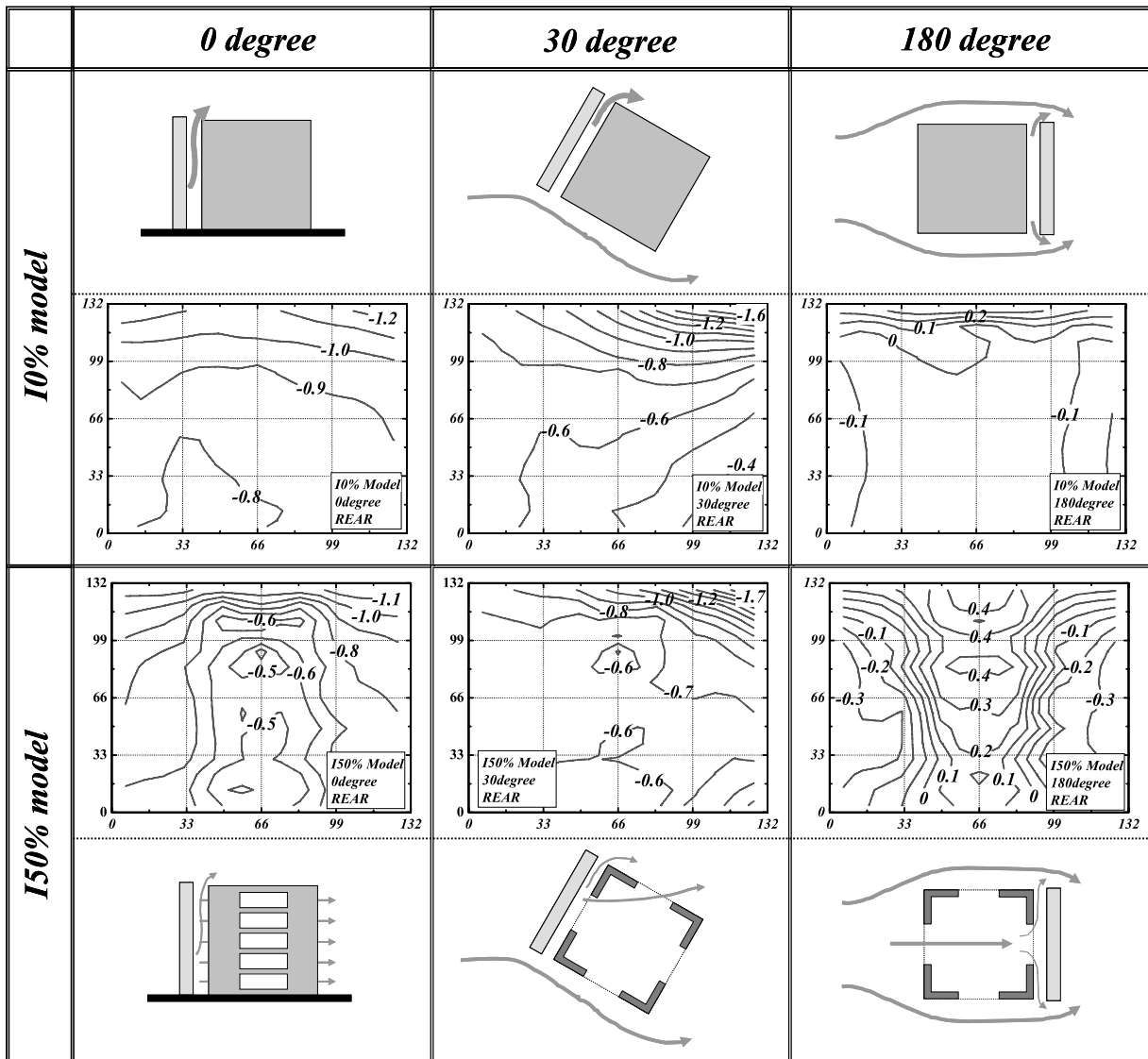


Fig.12 Influence by the open space on C(-).

方が小さくなっていることが分かる。一方、両者の大きな違いは、開口部が存在する足場中央付近において見られ、その大きさはやはり150%モデルの方が小さくなっている。これは、建物の開口部を通じた新たな風の流れが発生したことにより、足場上方あるいは側方から受ける引張力が低下したことが原因と考えられる。したがってこの風向の場合は、外壁の開口部の存在を考慮して足場を設計しなくても、倒壊に対する安全性は確保できると言える。一方、風向30°について見てみると、両者の違いは余りなく、その最大値が右端上方であることや、その値もほとんど差がないこと、開口部付近で若干風圧が小さくなっていることなど、風向0°の場合と傾向が似ていることが図より分かる。このことから、風を正面側から受ける場合は、開口部の存在は余り問題とならず、やはり建物そのものの存在による影響が極めて大きいといえる。

これに対し風を背面から受ける風向180°の場合について見てみると、両者の違いが開口部付近で生じている点では共通であるが、その風圧力の大きさに注目すると、150%モデル(外壁に開口部を有するモデル)の方が10%モデルより大きな背面圧となっている。この点は風を正面側から受ける場合と異なる結果となっている。これは、足場上方あるいは側方からの引張力に加えて、建物の開口部を介して流入した空気による圧力が新たに足場に作用したためと考えられる(Fig.12の概念図参照)。このことは150%モデルの背面圧の分布性状から推測されるものである。つまり開口部付近の背面圧はプラスの値であるから、足場を建物から押し離す方向へ作用しているのに対し、足場の両側面では、マイナスの値となっており、建物に寄りかかる方向へ圧力が作用している。このことから、開口部を介して流入した空気そのまま足場中央付近にプラスの圧力値として作用したのち、足場両側面の方向に空気が流れたため、足場側面ではマイナスの値の風圧力となったと判断できるからである。なお、足場側面の風圧力が10%モデルより大きくなっている点も、このことから説明できると考えられる。

以上のことから、外壁の開口部の存在は、足場の正面側から風を受ける場合では10%モデルより背面圧が小さくなる(つまり安全側に働く)のに対し、足場の背面から風を受ける場合では10%モデルより大きな背面圧となり、これを考慮しないと危険側の評価となるといえる。

次にこの開口部の大きさと背面圧の増加の関係を明らかにするため、Fig.13に125%モデル、150%モデル、175%モデル、およびSCFモデル(独立足場)における背面圧の分布性状(風向180°の場合)について示す。図

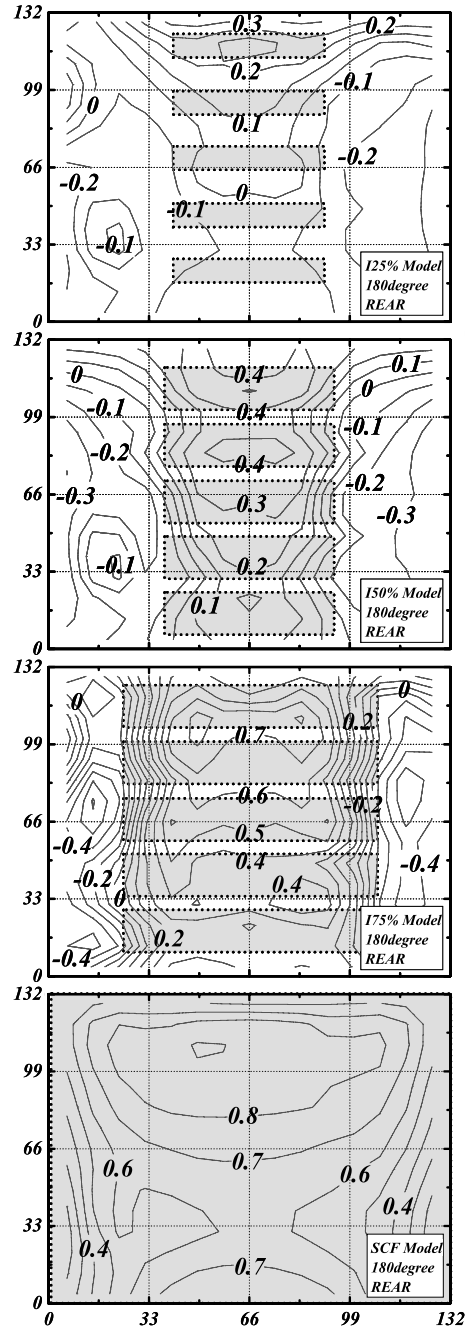


Fig.13 Relation between the value of C(-) and size of the open space of the wall.
開口部の大きさと背面圧の増加の関係

を見て分かるように、開口部の存在による影響は、当該開口部付近で主に生じる点は共通であること、そして開口部が大きくなるにつれて、背面圧も大きくなること、そしてその開口部を大きくしていくと、最終的にはSCFモデルの背面圧と大きさおよび分布性状が等しい関係になることが分かる。このことから、外壁の開口部の影響による背面圧の増加分については、SCFモデル

の背面圧を最大値とし、その開口部が小さくなるにつれて、増加分が減少する関係にあるといえる。このことは、開口部を有する建物に足場を設置する場合、SCFモデルに作用する背面圧を設計用背面圧とすれば、安全側の評価を与えることができることを示している。したがって前章で指摘した正面圧の推定方法(当該建物形状を考慮した外圧係数により推定)と独立足場(SCFモデル)に作用する背面圧の推定結果を併用する設計法により安全な足場が理論的に設計できるといえる。

6. 足場の設計方法

構造物に作用する風荷重は、(4)式により求めるのが一般的であるから、足場に作用する風荷重についても、同じ考えに基づき、(4)式で算出する方法を考える。そこで(4)式の構成を見てみると、その解は風圧係数Cと表面積A、および設計基準圧 q_z の積で表されることが分かる。ここで設計基準圧とは、地域特性を考慮した強風の再現期待値より算出されるもので、既に統計的な分析から当該速度圧について報告がなされており、いくつかの文献などから推定可能である。したがって、ここで特に問題となるのは風圧係数Cと表面積Aである。すなわち、①風力係数を等しい値として設計可能な箇所はどのように区分けできるのか、そして②各箇所の風力係数の大きさは、どのように設定できるのか、という2点を明らかにする必要がある。このうち正面圧については、既往の文献等により推定可能であることが、

$$P_{(i,j)} = C_{(i,j)} \cdot A_{(i,j)} \cdot q_z \quad \dots(4)$$

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

ここで、

$P_{(i,j)}$: 足場に作用する風荷重 (kgf)

$C_{(i,j)}$: 風圧係数。(1)式により算出するものであり、正面圧と背面圧の和で表される。

$C_{(i,j)}(+)$: 正面圧。建物形状を考慮した辺長比を考慮して、外圧係数(通常、建物外壁の耐風設計に用いられるもの)により、その値を決定する。

$C_{(i,j)}(-)$: 背面圧。独立足場に作用する背面圧を用いれば、その最大値が推定されるので、安全側の設計が可能となる。

$A_{(i,j)}$: 当該風荷重を算出する箇所の表面積 (m^2) (当該足場で風圧係数が等しい箇所)

q_z : 足場頂部高さ z (m) における設計用速度圧 (kgf/m^2)

これまでの検討(第3章)より明らかとなっていることから、ここでは特に背面圧の設計時の評価方法(背面圧を同一の大きさとして評価できる領域 $A_{(i,j)}$ の推定方法と、その背面圧の大きさ $C_{(i,j)}(-)$ について検討を加えることとする。ところで背面圧の大きさは、独立足場の背面圧を設計値として用いれば、安全側の評価を与えることが可能であることは、Fig.13での検討から明らかである。しかしこの値をそのまま用いるのは設計用風荷重を過剰評価することになり、足場の設計のみならず施工上においても困難・不経済を伴う。そこで具体的な値として、独立足場に対して何割の背面圧を見込めば

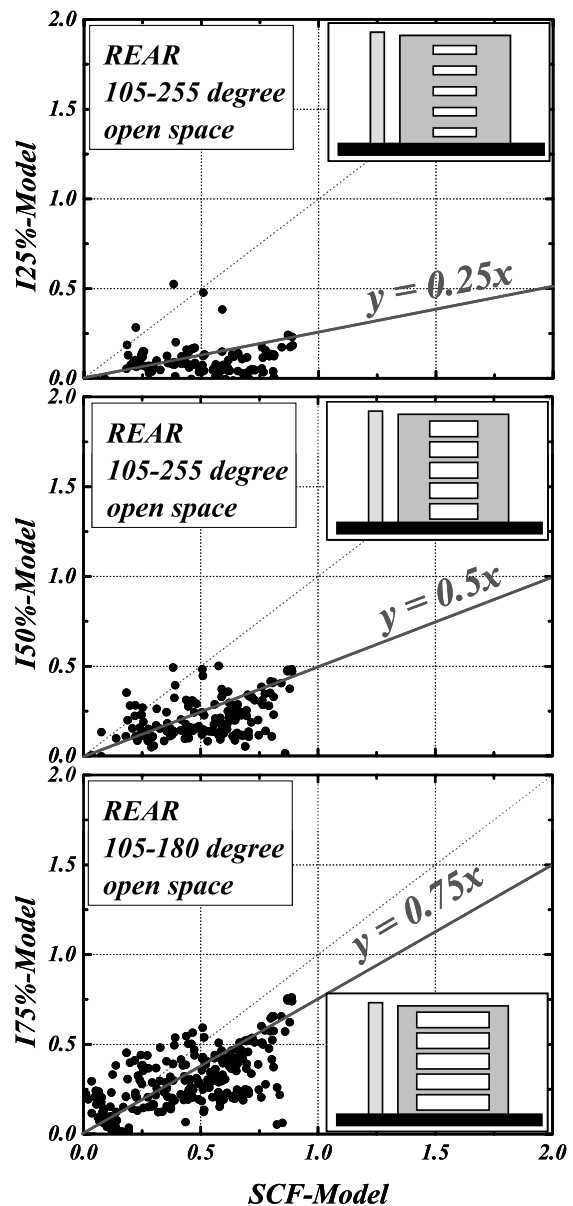


Fig.14 SCF and others relation on C(-). 背後に開口部を有する足場の計測点の背面圧の比較

良いのかを検討した。

Fig.14は風を背面から受ける場合(風向 $105^{\circ}\sim 255^{\circ}$), すなわち壁つなぎに引張力が主に作用する場合の背面圧について示したものである。なおこの図は, プラスの値(足場を建物から引き離す方向の力)のみを示しているが, これは足場全体に作用する風荷重の大きさを考えた場合, マイナス側の値は重要でないためである。つまり, この風向では正面圧がマイナスの値(やはり足場を建物から引き離す方向の力)となるため, 背面圧がマイナスであると, 当該作用点での風荷重は全体として小さくなる方向に働くからである。またこの図は外壁の開口部の大きさが異なるモデルごとで, 独立足場の結果との関係を示しているのであるが, この図にプロットした結果は特に開口部が計測点の背後に位置するもののみである。これは, やはりFig.13の検討で明らかにした知見に基づいている。すなわち, 外壁の開口部の存在が背面圧に及ぼす影響は, “主にその開口部の存在する付近で生じている”という知見を踏まえたものである。そして, 加えて図中には, 一つの試みとして直線式 $y=ax$ (a は外壁全体の表面積に対する開口部の表面積の比: 以下, 開口率)を併せて示している。図から分かるように, 開口部を有するモデルの背面圧は, 若干のバラつきは存在するものの, おおよそこの直線式で推定する値, もしくはそれ以下の値を示していることが分かる。このことは, 外壁に開口部を有する場合の足場の背面圧が, 独立足場の背面圧と開口率の積により, 推定可能であることを示している。次に開口部が背後にない箇所の結果について, 独立足場と比較した結果をFig.15に示す。この場合では, 各モデルでばらつきが大きく, 一概に独立足場の背面圧に対する割合を定義することができなかった。とはいえ, これらの背面圧の最大値で比較をすれば, おおよそ独立足場の半分(50%)程度を見込めば, 安全側の評価値が得られるものと判断できる。

一方, Fig.16には, 風を正面から受ける場合(風向 $285^{\circ}\sim 165^{\circ}$), すなわち壁つなぎ材などに圧縮力が作用する場合の背面圧(マイナスの値)を示した。この図においてマイナスの値のみを示した理由は, 先ほどの説明と同じである。なお, 風を正面から受ける場合では, 開口部の存在は問題とならず, むしろ建物そのものの存在による影響を大きく受け, その影響は足場上方でのみ生じることを前章にて指摘した。このことからFig.16は, 足場の上方2層分の結果と他の下層の結果を分けて両者の関係をプロットしている。図から分かるように, 上方2層分では建物の存在により背面圧が大きくなり, 最大で1.4倍に増大していることが分かる。これに対し下層では, 直線式 $y=x$ より上方に○印が概ね

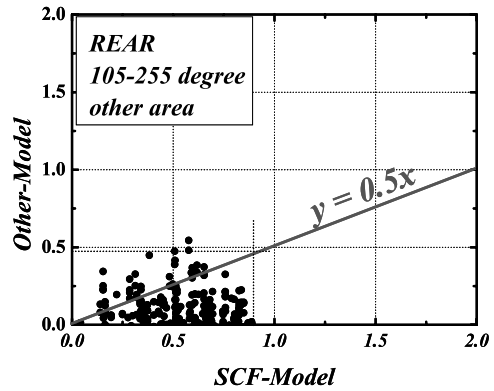


Fig.15 SCF and others relation on C(-).

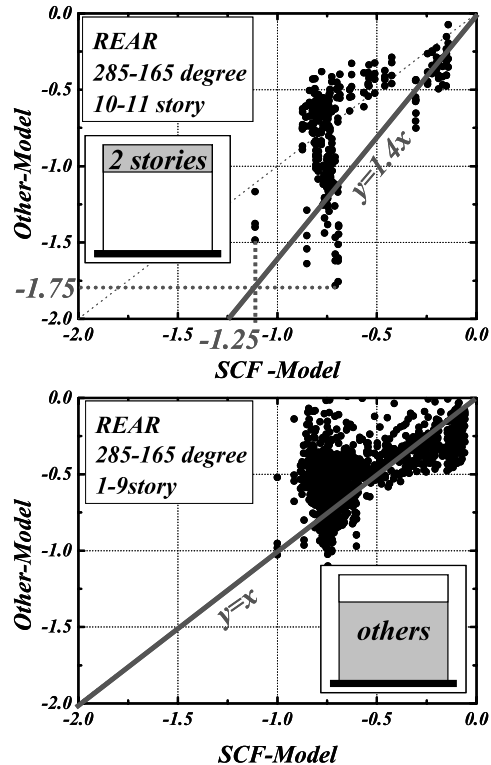


Fig.16 upper area and the other area of C(-).

プロットされており, 独立足場の背面圧が, 他のモデルの圧力を上回っていることが分かる。このことから, 風を正面から受ける場合の背面圧は, 上方2層とそれ以外の層で分けて考える方法が妥当であること, 下層では独立足場の背面圧と等しい背面圧を仮定し, 上方2層では, これに1.4倍した背面圧を仮定すれば, 建物に併設された足場の背面圧の評価が可能であることが明

らかとなった。

以上の結果を踏まえて、建物に併設された足場に作用する風荷重の算定方法を提案する。その算定手法

の基本的な考え方をまとめたものをTable2に示す。具体的な設計においては、 C_b および C_s を定義する必要がある。この場合は例えば、 C_b については文献2で定義

Table2 Estimation method of wind pressure acting on scaffolds.
足場の耐風設計手法

足場に作用する風荷重は、下式により求める。

$$P_{(i,j)} = C_{(i,j)} \cdot A_{(i,j)} \cdot q_z \quad \cdots \text{(I)}$$

$$C_{(i,j)} = C_{(i,j)}(+)+C_{(i,j)}(-) \quad \cdots \text{(II)}$$

- $P_{(i,j)}$: 足場に作用する風荷重 (kgf) であり、(I)式より求める。
- $C_{(i,j)}$: 足場の風圧係数であり、(II)式より求める。
- $C_{(i,j)}(+)$: 足場に作用する正面圧であり、下図における C_b に対応するものである。
- $C_{(i,j)}(-)$: 足場に作用する背面圧であり、以下の図における C_s 、 C_u 、 C_o 、および C_R に対応するものである。
- $A_{(i,j)}$: 同じ風圧係数で評価できる範囲の足場の表面積 (m^2) であり、以下の図で区分された風圧係数の領域ごとで算定する。
- q_z : 足場頂部高さ z (m) における設計用速度圧 (kgf/m^2) であり、既往の設計式を用いて算定する。
- C_b : 併設する建物の平面形状を考慮した辺長比を求め、その辺長比のモデルの外圧係数から算定する。
- C_s : 独立足場に作用する背面圧に基づき算定する。
- C_u : 上方2層分についての風上側の背面圧である。その値は、 C_s の 1.4 倍とする。
- C_R : 開口部が背後にない箇所の風下側の背面圧である。その値は、 C_s の 0.5 倍とする。
- C_o : 開口部が背後にある箇所の風下側の背面圧である。
その値は、
 $n \leq 0.5$ のとき、 C_s の 0.5 倍
 $n > 0.5$ のとき、 C_s の n 倍 とする。
- n : 外壁の開口部の表面積を外壁全体の表面積で割った値である。

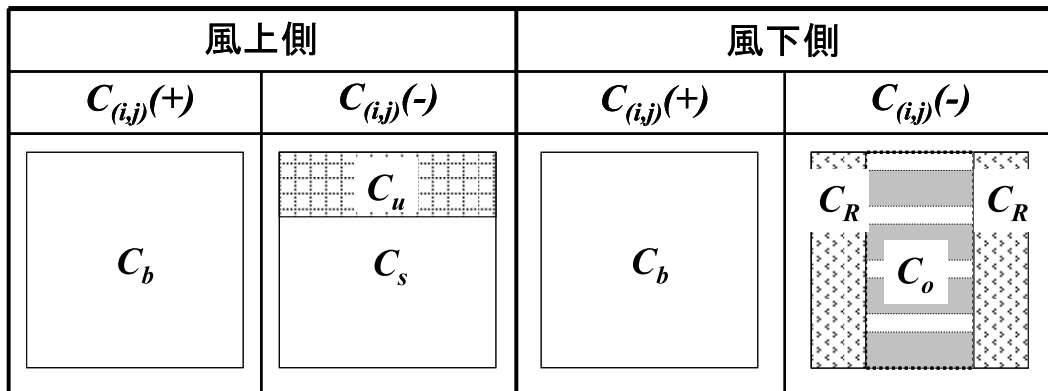


Table 3 Estimation method of C_b and C_s .
 C_b および C_s の算定方法
 C_b の算定方法²⁾

風上側		風下側			
$\frac{B}{H} \leq 1$	$\frac{B}{H} > 1$	L_a 部		L_b 部	
		$D/H \leq 1$	$D/H > 1$	$B/H < 6$	$B/H \geq 6$
$0.8k_z^*$	0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.8

☆: k_z は、高さ方向分布係数であり、本研究では縮尺率 1/150、風は地域区分IVを仮定して実験を行ったので、この場合は $k_z = 1.01$ となる。
 また、 B : 建物の幅、 D : 建物の奥行き、 H : 建物高さである。

< C_s の評価式 >

$$C_s = \bar{C} \cdot \{0.5813 + 0.013 \cdot L^* - 0.001 \cdot L^2\} \quad \dots(5)$$

ただし、 \bar{C} : 無元長の2次元部材と仮定した時の風力係数 (2.0)

L^* : 建物高さ と 幅に関する係数 ($2H/B$)

する外圧係数の評価手法、 C_s については足場を無限長の二次元部材^{10, 11)}と仮定し、これに文献12で提案された形状補正係数を考慮することにより(5)式で求めることも可能であると考えられる(Table 3参照)。

ある箇所の背面圧は、独立足場に作用する背面圧の大きさに、開口率(外壁の表面積あたりの開口部の割合)を掛け合わせた値とほぼ等しいか、それ以下の値となる。

7. まとめ

建物に併設された足場に作用する風圧力の基本特性を明らかにした。またこれらの知見を考慮して、足場の耐風設計手法の提案を行った。本手法の基礎となる知見を以下に示す。

- 1) 正面圧については、風向きに拘らず、併設する建物の平面形状を考慮した辺長比に基づき、既往の設計式(建物外壁部材の耐風設計で用いられる外圧係数の算定式)により推定可能である。
- 2) 背面圧については風を正面から受ける場合と背後から受ける場合で性状が異なる。
- 3) 風を正面から受ける場合(すなわち壁つなぎに圧縮力が作用する場合)では、背面圧は、建物そのものの存在による影響が大きく、その影響は足場上方でのみ生じること、そしてこの場合、外壁の開口部の大きさに悪影響を受けない。
- 4) 風を背後から受ける場合(すなわち壁つなぎに引張力が作用する場合)では、背面圧は、外壁の開口部の影響を大きく受け、その開口部が大きくなるにつれて背面圧が大きくなり、その最大値は独立足場に作用する背面圧と大きさ及び風圧分布性状ともに一致する。
- 5) 風を背後から受ける場合において、背後に開口部が

参考文献

- 1) 仮設工業会, 改訂「風荷重に対する足場の安全技術指針」, 1999.2
- 2) 建築物荷重指針・同解説, 日本建築学会, 2004.9.15
- 3) 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, 風洞実験による実測調査結果の予推定誤差に関する検討, 独立行政法人産業安全研究所特別研究報告NIIS-SRR-No31 (2005)
- 4) 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, 1981.6
- 5) 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
- 6) Bearman, P.W and I.G. Currie, Pressure-fluctuation measurements on an oscillating circular cylinder, jour. Fluid mech., Vol.91, pp661-677, 1979
- 7) Williamson, C.H.K., Oblique and parallel modes of vortex shedding in the wake of a circular cylinder at low Reynolds number, Jour. Fluid Mech., Vol.206, pp579-627, 1989
- 8) 風災害研究会, 強風災害の変遷と教訓, 2000.11

- 9) 日野泰道, 大幡勝利, ソンボルポンクムシン, 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
- 10) 大熊武司ら著, 建築物の耐風設計, 1996.3
- 11) 日本鋼構造協会, 構造物の耐風工学, 1997.11
- 12) Cook, N. J. “The designer’s guide to wind loading of building structures: Part2 static structure” ,pp177- , London, Butterworth, 1990
(平成17年4月30日受理)