

建物の解体工事における強風による足場の倒壊災害防止 に関する風洞実験†

大 嶋 勝 利*1 高 橋 弘 樹*2 日 野 泰 道*2 木 村 吉 郎*3 甲 斐 リ サ*4
倉 田 一 平*3

最近の台風等の強風時における足場の倒壊による被害状況について調査すると、建物の解体工事等における倒壊災害が多発していることが明らかとなった。建物の解体工事等においては、がれきの飛散を防止するため防音パネルを使用することが多いが、強風時において防音パネルは、メッシュシートのように容易に取り外したり巻き取ったりすることができないことが倒壊災害の要因の一つと考えられる。そこで、本研究では、解体工事で使用される防音パネル付きの足場を対象に、風洞実験により足場に作用する風荷重を測定し、解体工事における足場の耐風対策を検討した。実験対象とした建物は、台風時に倒壊事例も報告されている一般的な団地とし、団地や足場を縮尺 1/60 でモデル化して風洞実験を行った。その結果、開口部がある場合には、足場の耐風対策を規定する技術指針の値を超える風荷重が観測された測定点が多く確認された。以上の結果より、建物解体時において台風等の強風が予測される時に、防音パネル等の取り外しが困難な場合は、事前に開口部を補強するなどの耐風対策の検討が必要であることが明らかとなった。

キーワード: 解体工事, 足場, 防音パネル, 台風, 風洞実験, 風力係数.

1. はじめに

建物の解体工事等で使用する足場は、工事で使用する資材等の飛散・落下等を防止するため、メッシュシート等で覆われていることが多い。足場は、資材の重量等による鉛直方向の荷重に対しては十分な強度を有しているが、強風時においては、メッシュシート等に非常に大きな水平荷重が作用するため、足場と建物を壁つなぎや控えでつなぐなどにより適切な耐風対策を行う必要がある。

通常は足場の供用期間が長くないことから、足場の風荷重に対する技術指針¹⁾(以下、技術指針とする)では再現期間 1 年程度の風速を基準にして設計することとされており、台風等の強風が予測される場合には、メッシュシート等を取り外したり巻き取ったりすることが示されている。しかし、強風時における足場の倒壊が頻繁に報告されている(図 1 参照)。

そこで、最近の台風等の強風時における足場の倒壊による被害状況について、現地調査や web 上での調査を中心に収集し検討した。その結果、建物の解体工事や補修工事における倒壊災害が多発していることが明らかとなった。建物の解体工事や補修工事においては、がれきの飛散を防止するため防音パネルを使用することが多いが、強風時において防音パネルは、メッシュシートのように容易に取り外したり巻き取ったりすることができないことが倒壊災害の要因の一つと考えられる。

そこで、本研究では、解体工事が多く行われている団地解体時の足場を対象に、風洞実験により足場に作用する風荷重を測定し、解体工事における足場の耐風対策を検討した。



図 1 台風等の強風により倒壊しそうな足場の例

2. 最近の台風時における足場の倒壊による被害状況²⁾

2.1. 最近の台風等による足場の被害状況

最近の台風等の強風時における足場の倒壊による主な被害例を、表 1 に示す。表 1 に示すように、足場の倒壊により人的被害が発生しており、現場周辺の多数の歩行者に被害が及ぶ場合もある。また、足場が倒壊し道路や鉄道上に倒れたケースが多くあり、道路や鉄道が通行止め・運休になる場合や、多数の車を破損する被害も発生している。

工事の種類としては、近年増加傾向にある解体工事や補修工事での足場の倒壊が多く発生している。

† 本報の一部は、2020 年度日本建築学会大会、講演梗概集、材料施工、pp. 855-856 の記述の一部を加筆修正し、まとめ直したものである。

*1 労働安全衛生総合研究所研究推進・国際センター

*2 労働安全衛生総合研究所建設安全研究グループ

*3 東京理科大学工学部土木工学科(倉田は研究当時)

*4 東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻(研究当時)

表1 最近の台風等の強風時における足場の倒壊による主な被害例⁹⁾

事例	発生日 (yyyy/mm/dd)	最大瞬間 風速(m/s)	工事の 種類	被害の 内容	気象現象
1	2018/3/1	19.8	解体	道路	
2	2018/3/1	23.2	補修	駐車場	春一番
3	2018/3/22	13.6	解体	道路	
4	2018/6/29	16.5	補修		
5	2018/7/3	17.4	補修	車7台	台風7号
6	2018/9/4	14.5	補修		台風21号
7	2018/9/4	25.9	建設	道路	台風21号
8	2018/9/4	47.4	解体	道路	台風21号
9	2018/9/4	47.4	解体	道路	台風21号
10	2018/9/4	43.6	補修	駐車場	台風21号
11	2018/9/5	33.4	補修		台風21号
12	2018/10/1	22.8	補修	道路	台風24号
13	2019/9/9	27.3	解体	鉄道	台風15号
14	2019/9/9	41.8	解体	鉄道	台風15号
15	2019/9/9	41.8	建設	道路	台風15号
16	2019/9/9	41.8	解体	道路	台風15号
17	2019/9/9	31.4	補修	街灯等	台風15号
18	2019/9/9	31.4	補修	車等	台風15号
19	2019/9/23	16.0	建設		台風17号
20	2019/12/12	22.1	補修	8人負傷	

2.2. 被害状況の現地調査

ニュース等で報道された情報を基に、2018年に台風により発生した、2か所の足場の倒壊状況を現地で調査した。調査した際に、足場の倒壊からすでに一週間以上経過していたため、どちらの現場も倒壊した部分の足場は現場には残されていない。しかし、倒壊せずに残っていた足場や、建物の外壁に残っていた壁つなぎや控えの痕跡から、実際に立っていた足場の状況は推測可能である。

図2は、1か所目の足場が倒壊した解体中の建物である。足場の種類は「わく組足場」であり、防音パネルで囲まれていたと推定される。足場と建物とをつなぐ控えは、図3に示すように建物の外壁に穴をあけ、その奥の鉄骨に専用のクランプで取り付けられていたと推定されるが、技術指針からは問題のない取り付け間隔であったと考えられる。

図4は、2か所目の足場が倒壊した解体中の建物である。足場の種類は同じく「わく組足場」であり、防音パネルで囲まれていたと推定される。足場と建物とをつなぐ控えや壁つなぎは、建物の外壁に穴をあけて取り付けられていたものや、外壁に直接取り付けられたと推定されるものが見られた。しかし、1か所目同様に技術指針からは問題のない取り付け間隔であったと考えられる。

以上の調査より、どちらの足場も、技術指針を満足する構造であったと推定される。しかし、どちらも、建物の解体工事において防音パネルが取り付けられていた状況で足場が倒壊していたと推定される。



図2 足場が倒壊した解体中の建物（事例1）



図3 鉄骨に取り付けられた控え（事例1）

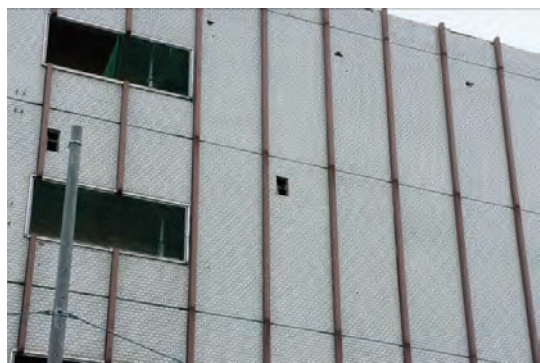


図4 足場が倒壊した解体中の建物（事例2）

このため、防音パネルを取り付けた足場の耐風対策について喫緊に検討する必要があると考えられる。そこで、建物解体時の模型を用いて風洞実験を行い、足場に作用する風荷重を測定して安全対策について検討することとした。

3. 風洞実験の概要

3.1. 対象とした建物

風洞実験は、労働安全衛生総合研究所で保有する回流式風洞（測定部は高さ2m、幅2.3m、長さ17m）で行った。実験対象とした建物は、図5に示す外形を持つ一般的な団地として、縮尺1/60で模型化した。建物模型の寸法は630(W)×90(D)×226.4(H)mmで、厚さ5mmの屋上部は16.7mm（正面）または10.0mm（側面）張り出している。このような解体中の団地に建てられた足場の台風等の強風時による倒壊は、第2章の被害状況の調査でも確認されている。

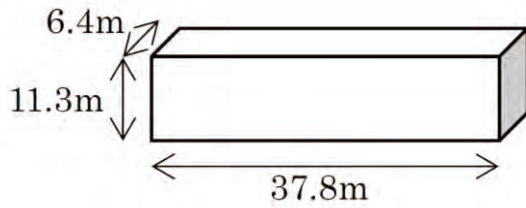


図5 対象とした建物の外形

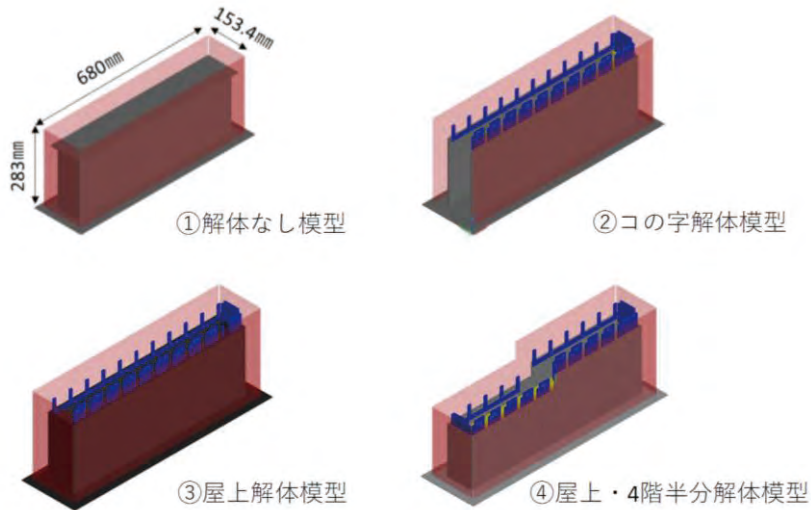


図6 足場の実験模型の概形

3.2. 対象とした足場

本研究では防音パネル、壁つなぎ、控えのみを模型化することとした。建物全面を覆っているため、足場本体には直接風は作用しないため、足場本体は省略した。

一般的に多く使用されているわく組足場を対象とし、中でも最も一般的な標準的な1層1スパンの寸法が幅900mm、高さ1700mm、奥行1800mmのわく組足場を想定して、防音パネルの大きさと位置を決めた。

足場の形状は、一般的な解体工法でとりうる4種類の形状の模型を作成した。

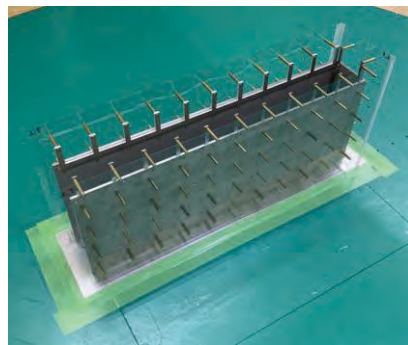
- ① 解体なし模型
- ② コの字解体模型
- ③ 屋上解体模型
- ④ 屋上・4階半分解体模型

②は5階程度以下の建物解体時に行われることが多い工法で、先に外壁1面のみを解体する工法である。

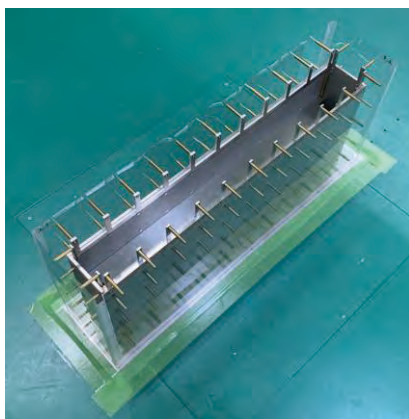
③④は屋上から1階ごとに解体が行われる工法である。以上の4種類の実験模型の概形を、図6に示す。解体前建物の模型まわりの防音パネルの寸法は高さ283mm、奥行き153.4mm、幅680mmとした。図7に示すように、防音パネル模型には厚さ0.5mmのポリエチレンテレフタレートを使用し、風力の分布を測定できるようにした。



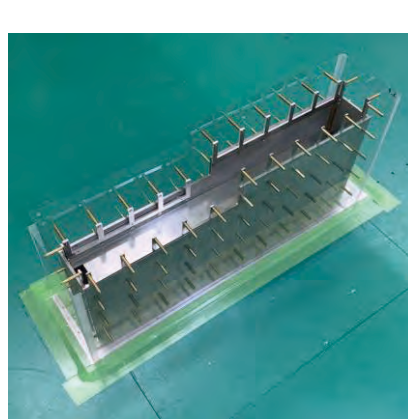
① 解体なし模型



② コの字解体模型



③ 屋上解体模型



④ 屋上・4階半分解体模型

図7 建物と防音パネル模型

3.3. 自然風の模擬

本研究では、実現象に近い条件で測定を行うために自然風の模擬を行った。自然風は、地表面から離れるに従って風速が増大するという特徴がある。特に地表面付近では、地表面の粗さによる影響が大きい。また、風速は時間的にも空間的にも不規則に変動するという特徴も持っている。

本実験では、チェーン、スパイヤー、バリヤーを用いて一般的な郊外の乱流境界層(建築物荷重指針・同解説⁴⁾の地表面粗度区分Ⅲ)の生成を目標とした。その際、風洞内の風速の鉛直分布の測定に加えて、風速の不規則な変動の特性を確認するために乱れの強さの鉛直分布の測定も行い調整した。

各装置の配置図を、図8に示す。風上側から図9に示すバリヤーとスパイヤー5台を設置し、図10に示す2種類のチェーンを測定部全体に並べた。

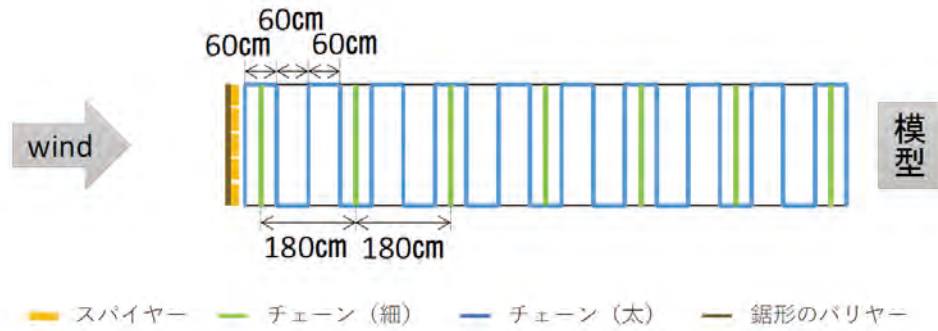


図 8 自然風模擬のための各装置の配置図



図 9 風洞内に設置されたバリアーとスパイヤー5台



図 10 風洞内に設置された2種類のチェーン

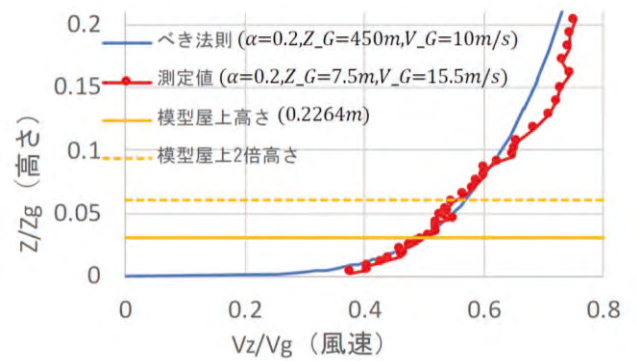


図 11 風洞内の風速の鉛直分布

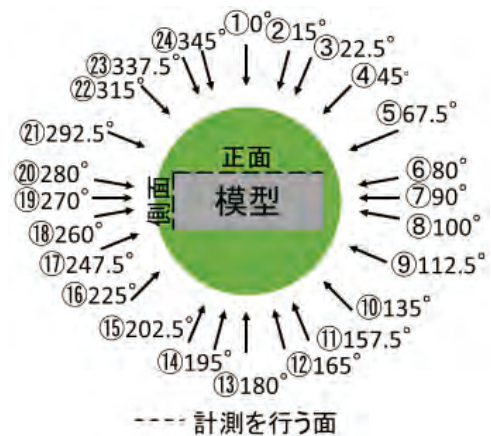


図 12 測定風向

図 11 に、風洞内の風速の鉛直分布を示す。境界層乱流の鉛直方向の風速分布は模型高さの約 2 倍程度までべき法則 ($\alpha=0.2$) の風速分布にほぼ一致した。平均風速は屋上高さで 10m/s とした。測定には、ロードセル (共和電業製 LVS-2KA) を用い、防音パネルに垂直に作用する風力を、正面で 55 点、側面で 10 点 (ただし屋上解体模型においては測定点数を半分程度としている) において測定した。サンプリング周波数は 1kHz、測定時間 60 秒、24 風向 (図 12) で測定した^{5,6)}。

3.4. 測定結果

各模型、各測定点の全風向における、建物正面の足場に作用する風力係数の最大値と最小値のコンター図を、それぞれ図 13 および図 14 に示す。同図より、コの字解体模型は、他の模型に比べ最大値と最小値の絶対値が大きくなる位置があることがわかる。なお、側面においては、最大値と最小値の絶対値に大きな値は測定されなかった。

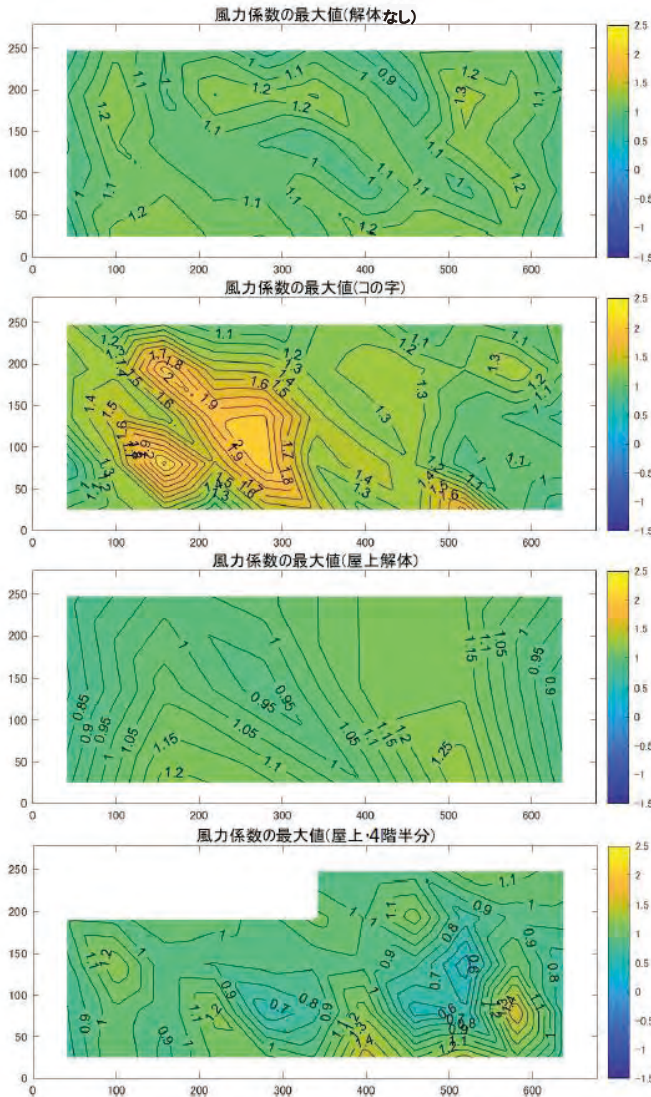


図13 建物正面の足場に作用する風力係数の最大値のコンター図

これを、技術指針による風力係数と比較することとする。解体なし模型、屋上解体模型は技術指針によって求められる風力係数を超えた測定点は確認されなかった。また、屋上の有無によって最大・最小値の値とその風向の結果に大きな差は現れなかった。屋上・4階半分解体模型では、正面右側の1測定点で最大値が技術指針の値を超える場合があった。一方で、解体なし模型の1/3程度となる測定点も確認された。

コの字解体模型では開口部側である正面の左側で最大値・最小値が技術指針から求められる風力係数を超える測定点が多く現れた。そこで、風力係数の最大・最小値をプロットした図、及び、風力係数の最大・最小値が発生した風向番号をプロットした図を図15に示す。図15では、技術指針によって求められる風力係数の値を超えた測定点を赤太字で示している。コの字解体模型は屋上解体模型と比較して、開口部側で最大値は2倍程度、最小値は3倍程度絶対値が大きな値となる点を確認された。

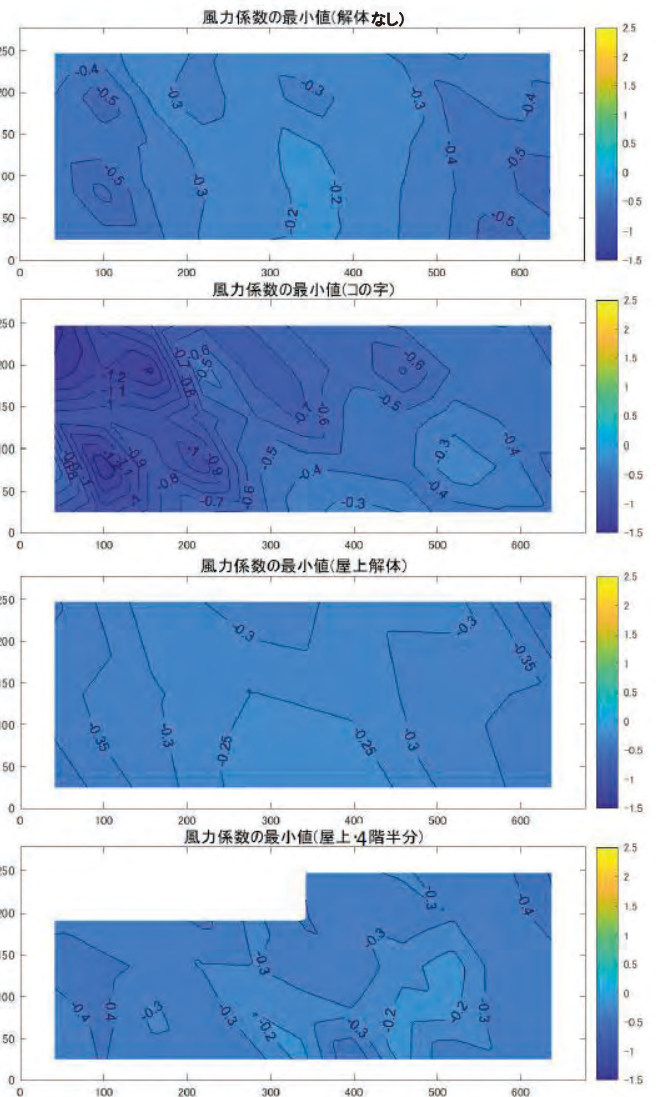


図14 建物正面の足場に作用する風力係数の最小値のコンター図

コの字解体模型では、開口部が有ることによる風力係数への影響が大きいことが考えられる。

以上の結果より、台風等の強風が予測される場合には、足場のメッシュシート等を取り外したり巻き取ったりすることは当然のこととして、建物解体時において防音パネル等の取り外しが困難な場合は、事前に開口部を壁つなぎ等により補強するなどの対策の検討が必要と考えられる。なお、既往の研究では⁷⁾、開口部を作らないよう、シートで覆うことも風荷重の低減策として有効な対策であることが示されており、耐風対策の参考となる。

4. まとめ

本研究では、強風時に倒壊災害が多く発生している建物の解体工事に使用する防音パネル付きの足場を対象として、風洞実験により足場に作用する風荷重を24風向で測定した。得られた結果と対策を以下にまとめる。

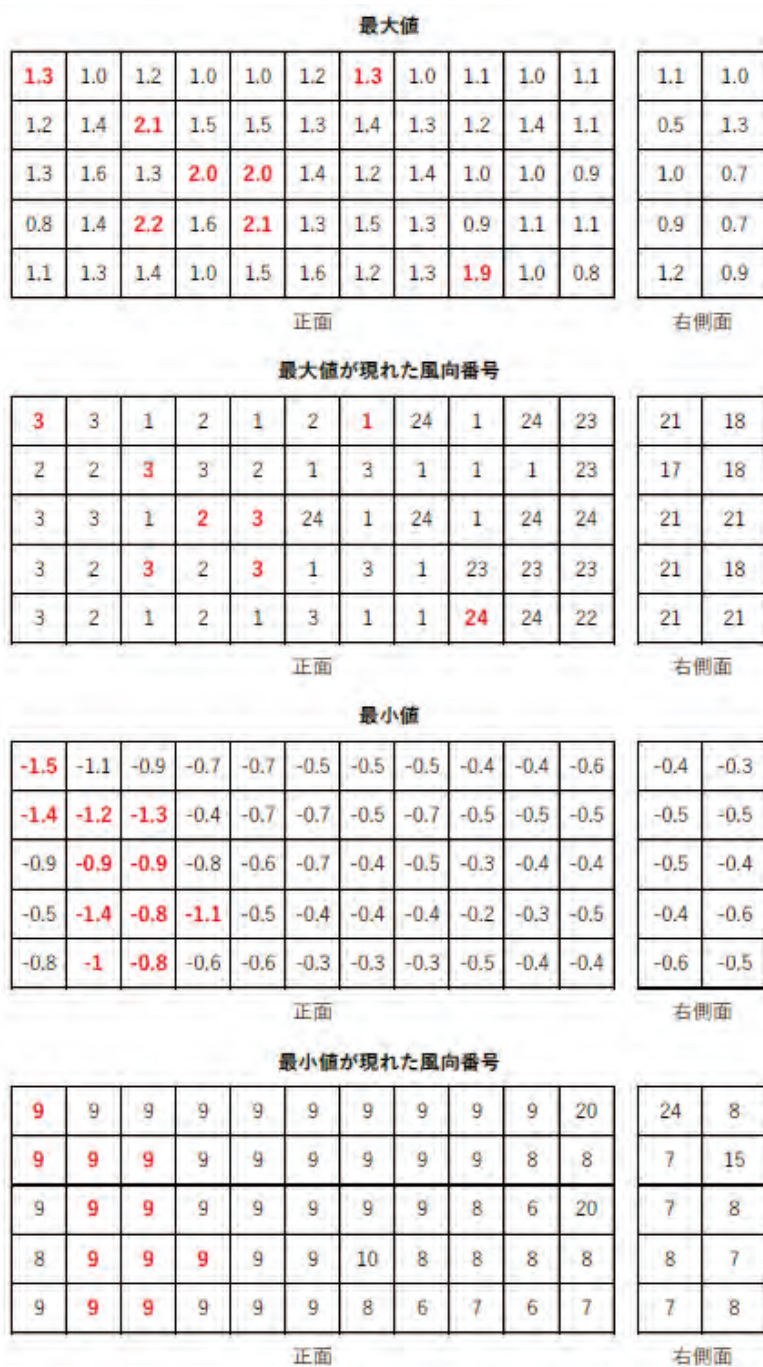


図15 コの字解体模型の風力係数の最大・最小値と風向番号

(1) 解体工事が多く行われている団地の解体時の足場を対象に、一般的な解体工法でとりうる次の4種類の形状の模型を作成して風洞実験を行った。

- ① 解体なし模型
- ② コの字解体模型
- ③ 屋上解体模型
- ④ 屋上・4階半分解体模型

(2) 足場の設計の際に重要となる風力係数の最大値と最小値については、解体なし模型と屋上解体模型では技術指針より求められる風力係数を超える測定点は無かった。

屋上・4階半分解体模型では、正面右側の1測定点で最大値が技術指針の値を超えた一方で、解体なし模型の1/3程度となる測定点も確認された。

(3) コの字解体模型では、開口部側で技術指針の値を超える測定点が多く確認され、最大値は屋上解体模型の2倍程度、最小値は3倍程度となる測定点もあった。

(4) 台風等の強風が予測される場合には、足場のメッシュシート等を取り外したり巻き取ったりすることは当然のこととして、建物解体時において防音パネル等の取り外しが困難な場合は、事前に開口部を壁つなぎ等により補強するなどの対策の検討が必要と考えられる。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、東京理科大学理工学部土木工学科(研究当時)の近藤広海氏、松尾走氏には、風洞実験において多大なご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 一般社団法人仮設工業会. 改訂 風荷重に対する足場の安全技術指針. 1999.
- 2) 大幢勝利, 高橋弘樹. 建築物の解体・補修工事等における強風による足場の倒壊調査. 日本建築学会大会, 講演梗概集, 材料施工. 2020; 855-856. 千葉(誌上開催), 日本建築学会.
- 3) 大幢勝利. 3.11 鋼管足場・クレーン. 強風災害の変遷と教訓 第3版. 日本風工学会, 東京. 2022; 155-157.
- 4) 日本建築学会. 建築物荷重指針・同解説. 2015.
- 5) 甲斐 リサ, 松尾 走, 木村 吉郎, 大幢勝利. 防音パネルを使用した建物解体工事の足場に作用する空気力の特性. 令和2年度土木学会第75回年次学術講演会講演概要集. 2020; I-356.
- 6) 木村吉郎, 甲斐リサ, 大幢勝利, 高橋弘樹. 防音パネルを使用した建物解体途中の足場に作用する空気力の測定. 2021年度一般社団法人日本風工学会年次研究発表会. 2021.
- 7) 日野泰道. 仮設足場の新しい耐風補強手法に関する検討. 産業安全研究所特別研究報告 NIIS-SRR-NO.31, 仮設構造物の耐風性に関するアセスメント手法の開発. 2021; 43-50.