外装二重壁の外壁面に作用する風圧力の実測

FIELD MEASUREMENTS OF WIND LOAD ON DOUBLE COMPOSITE EXTERIORS

茅野紀子 ———*1
岩佐義輝 ———*2
佐藤秀雄 ———*3

Noriko CHINO
Yoshiteru IWASA
Hideo SATO

The wind pressure differences across the exterior panels which were attached to concrete walls using non-sealed joints were measured on windy days. The air spaces between the exterior panels and the concrete walls are partitioned in order to interrupt the air flow. Measurements confirmed that the 10-min. average wind loads on the exterior panels were nearly zero and the fluctuating wind loads on the exterior panels were also smaller than those on the entire wall consists of exterior panels and parapet.

キーワード：
風圧力, 二重壁, 内圧

Keywords:
Wind pressure, Double composite exterior, Internal pressure

1. はじめに

近年、外壁改修工事において、既存外壁を残したままその外側を新しい外装材で覆い外壁を一新する二重壁構法が採用されるようになってきた。このような二重壁構法では、外気側の風圧力と二重壁間の空気層内の圧力との差が、新外装材に風荷重として作用する。そこで新外装材に開口を設ける、あるいは外装パネル間を空目地にする等により外気を二重壁間に導入し、二重壁間の圧力をパネル外表面の風圧力に近付けることができれば、新外装材に作用する風荷重の低減が可能となる。このようなことから既報¹⁾では、外装材に開口を設けた場合の二重壁間の圧力性状を定量的に評価するための解析手法を立案し、風洞実験結果との比較によりその適用性を検証した。本報では、実際の外壁改修工事に二重壁構法を採用した建物において風圧力の実測を行い、開口の設置による風荷重低減効果を確認したので、ここに報告する。

二重壁に作用する風圧力については、鈴木等²⁾は、目地を開放した外装パネルに関する実測により、パネルに作用する風圧力は一般外壁の約1/3程度になると報告している。またU. Ganguli等³⁾は、オープンレインスクリーンウォール(2枚のパネルにより構成され、2枚のパネル間には空気層が設けられ、外側のパネルには外気導入用の開口が設けられている)に関する実測を行い、外側のパネルに作

用する差圧のピーク値(評価時間は1秒、あるいはそれ以下)はオープンレインスクリーンウォールの設計用風荷重の75%程度になると報告している。また著者等⁴⁾は、既存外壁の外側を一部に開口を設けたガラスカーテンウォールで覆った二重壁(既存外壁とカーテンウォールの間隔は650mmと比較的広い)に関し実測を行い、カーテンウォールの設計用風荷重を算定する場合の二重壁間の圧力に関し、平均値は開口部外圧の平均値に等しく、変動成分は無視し得るとの結果を得た。

本報では、二重壁の間隔が比較的狭く外装パネル間を空目地とした場合に関し風圧力の実測を行い、二重壁間の圧力性状および外装パネルに作用する風荷重の検討を行った。

2. 実測概要

2.1 建物概要

実測を行った建物は、東京都新宿区の小田急・JR新宿駅前に位置する最高高さ62m(地下3階、地上14階、塔屋1階)の複合型商業建物である(写真1参照)。周囲は中高層建物からなる商業地域であり、西側約500mの地点には、新宿新都心の超高層建物群が位置している。この建物では、大型陶板を用いたタイル外壁面の全面改修が実施された。図1に、大型陶板の取付図を示す。*大型陶板(大きさ:592×

*1 (株)竹中工務店技術研究所 副主任研究員
(〒270-13 千葉県印西市大塚1-5-1)

*2 (株)竹中工務店技術研究所 部長・工博

*3 (株)竹中工務店技術研究所 主任研究員・工修

*1 Assistant Chief Researcher, Technical Research Laboratory, Takenaka Corp.

*2 Senior Manager, Technical Research Laboratory, Takenaka Corp., Dr. Eng.

*3 Chief Researcher, Technical Research Laboratory, Takenaka Corp., M. Eng.

写真1 対象建物の西側外観

図1 大型陶板取付図 (高層部)

図2 大型陶板外壁面西立面図

写真2 実測箇所

図3 風圧力測定点

592mm、厚さ：10mm）は、躯体にアンカーされたステンレスフレームにクランプ金具を用い固定され、躯体と大型陶板の間には65mmの空間が設けられている。この大型陶板に作用する風荷重の低減を目的として、大型陶板間の目地（縦方向；幅7mm、横方向；幅8mm）はシールをせずに開放としている。また大型陶板と躯体の間には、縦方向および横方向にスポンジ材の仕切りを設置し（図2参照）、二重壁間を小さな空間に分割している。なおこれらの仕切りは、風圧力の分布が大きく変化する建物隅角部近辺では、狭い間隔で設置している。

2.2 実測概要

風圧力の実測は、西側外壁面塔屋階の南西側隅角部パラペット部分で実施した（写真2参照）。風圧力の測定点については、図3に示すように、大型陶板外表面の風圧力（以下“外圧”と称する）の測定点（Po.1, Po.3, Po.5, Po.7）を大型陶板の横目地部に、二重壁間の圧力（以下“内圧”と称する）の測定点（Po.2, Po.4, Po.6, Po.8）を既存の外壁面に設けた。図4に風圧力測定点の詳細を、図5に観測システムを示す。外圧の測定には、内径4mmの真ちゅう管を測定孔として使い、これを大型陶板横目地部のステンレスフレームに設置

図4 風圧力測定孔詳細図

した。外圧測定孔を設置した横目地は、大型陶板1枚分（長さ592mm）をシール材により密閉した。また内圧の測定には、内径4mm、長さ300mmのステンレス管を測定孔として用い、これを既存外壁（厚さ270mm）に設置した。これら各測定点の圧力は、内径6mm、長さ1mのビニールチューブを介し、塔屋階屋上に設置した圧力変換器（バリダイン微差圧計DP45-24）の動圧側に接続した。また圧力変換器の基準圧側は、内径6mm、長さ10mのビニールチューブを介し、塔屋階屋上の測定点近傍に設置した静圧箱（大きさ約200×250×500mmの木製の箱）に接続した。なお圧力変換器およびアンプは格納箱に収納し、格納箱には直射日光を避けるための屋根および通風のための開口を設けた。ここで、動圧側のビニールチューブ（長さ1m）および圧力変換器からなる測定系の周波数伝達特性に関しては、20Hz程度まで平坦であることを確認している。また基準圧側の周波数伝達特性に関しては、ビニールチューブが長いと高周波数領域ではゲインが減衰するが、吉田等の研究⁵⁾により、本観測のサンプリング周波数である5Hz程度までは平坦であると推定される。したがって、風圧力の測定点を設けたパラベット部分において、既存外壁の屋上側の面に作用する風圧力と静圧箱内の圧力が等しいと仮定すると、本観測における“外圧”はパラベット部の大型陶板と既存外壁に作用する風力の和に等しくなる。また、“外圧”と“内圧”の差（以下、これを“差圧”と称する）は、大型陶板に作用する風力に等しい。

風向風速の測定には矢羽根式風向計および三杯型風速計（牧野応用測器VF216, AC860、風速計の距離定数は公称6.3m）を用い、これらを塔屋階屋上（高さは、塔屋階屋上約7m）に設置した。

データ収録にはデータレコーダ（TEAC DR-F1）を用い、サンプリング間隔を0.2秒、サンプリング個数を3000個（10分間）とし、8台の圧力変換器および風向風速計の出力を同時に記録した。なおデータ収録は、風速を監視レベルとして用いたトリガーモード（トリガーレベル；瞬間風速が15～20m/s間）により行った。

3. 実測結果

観測記録は、風向が南寄り（南から南々西）および北寄り（北西から北々西）の場合に得られた。本報では、風向が南寄りの場合の代表的な結果として1992年9月25日の観測結果を、風向が北寄りの場合の代表的な結果として1992年2月16日の観測結果を示す。

図6に、観測時の風向風速を示す。同図(a)に示す9月25日の記録では、10分間データは34個得られており（同図横軸に示すRun No.1～34）、風向はほぼ南々西、10分間平均風速は9.2～16.4m/s、瞬間風速の10分間最大値は18.6～26.7m/sである。また、同図(b)に示す2月16日の記録では、10分間データは29個得られており（同図横軸に示すRun No.1～29）、風向はほぼ北西、10分間平均風速は8.2～14.4m/s、瞬間風速の10分間最大値は15.1～22.9m/sである。以下、この時同時に得られた風圧力データに関し、検討を行う。

1) 風圧力の時刻歴波形

図7に、風圧力の時刻歴波形の一例として、上述の9月25日のデータ（風向が南々西の場合）のうち14時7分から14時17分までの10分間の外圧、内圧および差圧の記録を示す。この時の10分間平均風速は16.4m/s、最大瞬間風速は26.7m/sである。同図より、風上面（南面）の外圧(Po.1)と内圧(Po.2)を比較すると、両者の差圧は小さく、その変動も小さい。一方、側壁面（西面）の外圧と内圧(Po.5とPo.6、

図5 観測システム

図6 観測時の風向風速

図7 風圧力時刻歴波形の一例
(1992年9月25日14:07～14:17(Run No.27))

およびPo.7とPo.8)を比較すると、差圧(Po.5とPo.6の差圧、およびPo.7とPo.8の差圧)は、風上面に比べ大きく、また瞬間的に大きな高周波数成分が見られる。

また、南面の測定点Po.4における内圧は、他の測定点の内圧に比べ外圧との相違が大きい。これは、図3の水平断面図に示したように、この箇所では目地が南面だけではなく西面にもあり、西面側の目地からの外圧の影響が二重壁間に及んでいるためと考えられる。

以下、風圧力の定量的な検討は、外気導入口(目地)が同一壁面内のみにある箇所(Po.1, Po.2およびPo.5~Po.8)に関し示し、外気導入口が2壁面にある箇所(Po.3, Po.4)に関しては、最後にまとめて示す。

2) 風圧力の10分間平均値

図8に、上述の風向が南々西の場合(9月25日)の34個のデータ、および風向が北西の場合(2月16日)の29個のデータから求めた各測定点の外圧の10分間平均値(横軸)と差圧の10分間平均値(縦軸)の関係を示す。同図より、風向が南々西の場合の風上面の測定点Po.1(○印)では、外圧は約10~20kg/m²の範囲で変化しているが、差圧の変化は非常に小さい。すなわち、差圧は外圧の大きさによらず概ね一定となっている。このことから、内圧の平均値は外圧の平均値にほぼ等しくなっている(すなわち 差圧はほぼ零)と推定される。その根拠については、仮に内圧が外圧に追従せずに相違が生じると仮定すると、目地が開放されている場合には、差圧の大きさが外圧の大きさによらず一定になるとは考えにくい。

また、本観測では随時機器の校正を行ったが、機器を設置した屋上では温度変化が大きく、圧力変換器のドリフトの影響を完全に除去するのは困難であった。このため、外圧および差圧の観測値には、圧力変換器のドリフトの影響が含まれていると推察される。これらのことから、同図に示されている差圧は圧力変換器のドリフトの影響によるものであり、実際に陶板に作用する差圧の平均値はほぼ零と推定される。風向が北西の場合の風上面の測定点Po.5(▲印)およびPo.7(■印)についても、同様のことがいえる。

なお、風向が南々西の場合の側壁面の測定点Po.5(△印)、Po.7(□印)および風向が北西の場合の風下面の測定点Po.1(●印)に関しては、これらの測定点が負圧領域にあるため^{※1)}、各測定点の圧力と基準圧として用いた塔屋階屋上での圧力(一般には負圧)との差は小さく、外圧および差圧とも小さいが、上述の風上面の場合と同様に、差圧が外圧の大きさによらず一定の傾向は見られる。

3) 風圧力の変動性状

3.1) 標準偏差

図9に、各測定点の外圧の標準偏差(横軸)と差圧の標準偏差(縦軸)の関係を示す。同図より、差圧の標準偏差は外圧の標準偏差に比べ小さく、同図中に示す回帰直線の勾配によれば、風上面および風下面(Po.1(○, ●印), Po.5(▲印), Po.7(■印))では、差圧の標準偏差は外圧の標準偏差の10~15%程度である。また側壁面(Po.5(△印), Po.7(□印))では、風上面および風下面と比較すると差圧の標準偏差は大きく、外圧の標準偏差の30~40%程度である。

3.2) 変動成分のピーク値およびピークファクター

図10および図11に、風圧力の変動成分のピーク値(10分間最大値と10分間平均値の差、および10分間最小値と10分間平均値の差)に関し、各測定点の外圧(横軸)と差圧(縦軸)の関係を示す。ここで、ピーク値の評価時間は1秒とし^{※2)}、記録データの移動平均後

図8 外圧と差圧の関係(10分間平均値)

図9 外圧と差圧の関係(標準偏差)

図10 外圧と差圧の関係(変動成分の最大値)

図11 外圧と差圧の関係(変動成分の最小値)

図12 外圧と差圧の関係(ピークファクター)

(平均個数は5個)の波形から求めた。これらの図より全般的な傾向として、差圧のピーク値は、最大値および最小値とも外圧のピーク値に比べ小さい。ここで、差圧のピーク値と外圧のピーク値の関係に関してはデータ(Run No.)によるばらつきが大きい、一応の目安として、直線による回帰結果を図中に示す。それらによれば、差圧の変動成分の最大値は、全測定点において、外圧の変動成分の最大値の10~20%程度である(図10参照)。また図11より、差圧の変動成分の最小値は、風上面および風下面(Po.1(○, ●印), Po.5(▲印), Po.7(■印))では外圧の10~20%程度、側壁面(Po.5(△印), Po.7(□印))では外圧の約50%である。ただし、側壁面における差圧の変動成分の最小値はばらつきが大きく、外圧の68%に及ぶものもある。

図12(a)には、外圧および差圧の最大値に対するピークファクターを、同図(b)には最小値に対するピークファクターを示す。全般的な傾向として、差圧のピークファクターは外圧のピークファクターに比べ大きく、また測定点およびデータ (Run No.) によるばらつきが大きい。また、側壁面 (Po.5(△印), Po.7(□印)) での最小値に対するピークファクターは、外圧および差圧とも他の測定点に比べ大きく、データ (Run No.) によるばらつきも大きい(同図(b)参照)。

3.3) パワースペクトル、および外圧に対する内圧のルートコヒーレンス・位相差

図13に、上述の9月25日14時7分～14時17分のデータ(図7)から求めた各測定点の外圧、内圧および差圧のパワースペクトルを示す。解析手法としてはAR法を用いた。同図(a)より、風上面では外圧と内圧のパワーは各周波数成分ともほぼ等しく、差圧のパワーは、低周波数成分および高周波数成分とも外圧に比べ低い。また同図(b)、(c)より、側壁面では内圧の低周波数成分のパワーは外圧にほぼ等しいが、高周波数成分のパワーは外圧に比べやや低く、側壁面の差圧は風上面の差圧に比べ高周波数成分のパワーが高い。

図13 外圧、内圧および差圧のパワースペクトル
(1992年9月25日14:07～14:17(Run No.27))

図14 各測定点の外圧に対する内圧 (Po.2) の
ルートコヒーレンスおよび位相差

図15 外圧 (Po.1) に対する外圧 (Po.3) の
ルートコヒーレンスおよび位相差

図16 外圧と内圧の相関に関する風上面と側壁面の比較

(a) 10分間平均値および標準偏差

(b) 変動成分の最大値および最小値

図17 外圧 (Po.3) と差圧 (Po.3とPo.4の差圧) の比較

なお図16には、側壁面の測定点Po.5の外圧に対するPo.6の内圧、および測定点Po.7の外圧に対するPo.8の内圧のルートコヒーレンス・位相差を、風上面の測定点Po.1の外圧に対するPo.2の内圧のルートコヒーレンス・位相差と比較して示す。同図より、側壁面についても風上面の場合と同様に、外圧と内圧の相関は高周波数領域においても高い。ただし側壁面では、風上面と比較すると、高周波数領域における外圧との相関はやや低い。

以上、風圧力の変動性状に関し、差圧は標準偏差およびピーク値とも外圧に比べ小さいこと、および外圧の低周波数成分だけではなく高周波数成分も二重壁間に伝播していることを定量的に示した。また、これらの性状は側壁面と風上面・風下面とではやや異なり、

側壁面では風上面・風下面に比べ、標準偏差・ピーク値に関する差圧の外圧に対する割合が大きいこと、および外圧と二重壁間の内圧との相関は、高周波数領域においてはやや低いことを示した。

4) 外気導入口が2壁面にある箇所(Po.3, Po.4)に関する検討

図17に、風向が南々西の場合(9月25日)に関し、外圧(Po.3)と差圧(Po.3とPo.4の差圧)の10分間平均値、標準偏差および変動成分の最大値・最小値を比較して示す。同図中に示す回帰直線の勾配によれば、10分間平均値、標準偏差および変動成分の最大値・最小値のいずれについても、差圧は外圧の約50%程度(ただし、変動成分の最小値に関しては、データによるばらつきが大きい)となっている。これらの値は、上述の外気導入口が同一壁面内のみにある場合に比べ大きい。

また図18に、外圧、内圧および差圧のパワースペクトルを示す。同図より、内圧のパワーは低周波数成分および高周波数成分とも外圧に比べ低く、差圧のパワーは、同じ風上面の測定点Po.1の差圧(図13(a))と比較すると、各周波数成分とも高い。

図19には、各測定点の外圧に対する内圧(Po.4)のルートコヒーレンスおよび位相差を示す。同図より、Po.4の内圧はPo.3の外圧と最も相関が高いが、Po.2の内圧の場合(図14)と比較すると、Po.5の外圧との相関も比較的高く、西面側の目地からの外圧変動の伝播もPo.4の内圧の変動に影響していることがわかる。

以上により、2壁面に外気導入口がある場合には、大型陶板に作用する風力は平均値および変動成分とも、外気導入口が同一壁面内のみにある場合に比べ大きいといえる。

4. まとめ

既存外壁の外側に大型陶板で覆い、大型陶板間を空目地とした二重壁において、風圧力の実測を行った。本例では、二重壁の間隔は65mmと比較的狭く、また二重壁間の内部空間は、仕切りにより小さな空間に分割されている。本観測結果の範囲ではあるが、大型陶板に作用する風荷重をパラペットに作用する風荷重(大型陶板と既存壁の風荷重和)と比較し、以下の結論を得た。

- ①大型陶板に作用する風力の平均値は小さく、ほぼ零と見なせる。
- ②大型陶板に作用する風力の変動性状に関しては、標準偏差はパラペットに作用する風力の標準偏差に比べ小さく、風上面および風下面では10~15%程度、側壁面では30~40%程度である。また、風力の変動成分の最大値(ピーク値の評価時間は1秒)に関しては、風上面、風下面および側壁面とも、大型陶板に作用する風力はパラペットに作用する風力の10~20%程度である。また風力の変動成分の最小値に関しては、風上面および風下面では大型陶板に作用する風力はパラペットに作用する風力の10~20%程度、側壁面では約50%(ただし側壁面についてはデータによるばらつきが大きく、最大68%)である。
- ③二重壁間の内圧の変動性状に関しては、外圧と内圧の相関は低周波数領域だけではなく高周波数領域においても高く、外圧の低周波数成分だけではなく高周波数成分も二重壁間に伝播することが、スペクトル解析によっても明らかにされた。

ただし、これらの結論は外気導入口が同一壁面内のみにある場合であり、本観測における南面隅角部の箇所のように2壁面に外気導入口がある場合には、大型陶板に作用する風力は平均値および変動成

図18 外圧(Po.3)、内圧(Po.4)および差圧のパワースペクトル
(1992年9月25日14:07~14:17(Run No.27))

図19 各測定点の外圧に対する内圧(Po.4)のルートコヒーレンスおよび位相差
(1992年9月25日14:07~14:17(Run No.27))

分とも、外気導入口が同一壁面内のみにある場合に比べ大きい。

以上により、本報に示したような二重壁では、大型陶板の設計用風荷重の算定に関し、平均値に関しては、二重壁間の圧力の平均値を外圧の平均値に等しくおく方法を提案できる。また風荷重の変動成分に関しても、外圧に比べ低減できることが示唆される。ただし、変動成分の低減に関する定量的な取扱いに関しては、さらに今後のデータの蓄積が必要と考えられる。

謝辞

実測に際し御理解と御協力を賜りました小田急電鉄様および坂倉建築研究所の方々に、厚く御礼申し上げます。

注

- 注1) 図8では、これらの測定点の外圧は正の値となっているが、これは、基準圧として用いた塔屋階屋上の圧力(負圧)の方が側壁面および風下面の測定点の圧力(負圧)より絶対値が大きいためと推定される。
- 注2) ピーク値の評価時間については、「日本建築学会建築物荷重指針・同解説(1993年)」において、外装材用風荷重に関する風圧のピーク値は、評価時間0.5~1秒相当値を対象としている。本報では、これに基づき、ピーク値の評価時間を1秒とした。

参考文献

- 1) 茅野紀子、岩佐義輝、萩原忠治、又木義浩、佐藤秀雄：外装二重壁の外壁面に作用する風圧力 — 二重壁間の内圧性状に関する研究 —, 日本建築学会構造系論文報告集 第448号 1993年6月
- 2) 鈴木邦臣、浅見豊、山宮輝夫：目地を開放した外装パネルに加わる風圧力の実測 — その2 TAF-Wall工法の開発 —, 大成建設技術研究所報 第19号, 1987
- 3) U. Ganguli and W.A. Dalgliesh: Wind Pressure on Open Rain Screen Walls: Place Air CANADA, J. of Structural Engineering, Vol. 114, No.3, 1988
- 4) 茅野紀子、岩佐義輝、萩原忠治、又木義浩、佐藤秀雄：二重構造壁の外壁面に作用する風圧力に関する研究 (その3) 二重壁間の内圧性状に関する実測結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1991年9月
- 5) 吉田正邦、本郷剛、鈴木雅晴、大熊武司、丸川比佐夫：変動圧測定における導圧管の周波数伝達特性, 風工学シンポジウム, 1986

[1996年6月28日原稿受理 1996年9月10日採用決定]