

超高層建物の外装部材に作用する外圧および内圧の実測

Full Scale Measurement of External and Internal Pressures on Cladding of Existing Tall Building

作田 美知子 MICHIKO SAKUTA

野田 博 HIROSHI NODA

建築技術部 岩野 秀之 HIDEYUKI IWANO

外装部材に加わる風力、特に内圧として室内圧を仮定することが適切でない外装部材の風力の把握を目的として、超高層建物において外装部材に作用する外圧と内圧の実測を行っている。本報では、風圧測定システムの概要およびボイド内の天井に作用する風圧の実測結果の一例を報告する。測定した天井に加わる風力は非常に小さかった。この結果は天井の風力の一例であり、ボイド内ではない天井、あるいは天井裏側につながる隙間面積等によっては異なる結果になると思われる。今後も実測を行い、更なるデータを蓄積していく予定である。

キーワード：実測、外圧、内圧、外装材設計用風荷重、天井

In order to investigate wind force acting on cladding of tall building, the author measured both external and internal pressures on cladding of existing tall building. This paper described design and specification of full scale measurement system of wind pressure and example of full scale measurement results of wind pressure acting on ceiling in void of the building. The results indicate that wind force (summation of external and internal pressure) of ceiling is very small. For various type of cladding, further full scale measurement should be carried out in order to propose reasonable design loads.

Key Words: Full Scale Measurement, External Pressure, Internal Pressure, Wind Load for Cladding, Ceiling

1. はじめに

建物には多くの外装部材が使用されているが、建設省告示や建築物荷重指針・同解説で示されている外装材設計用風荷重は帳壁および屋根ふき材のみである。帳壁の風荷重は窓ガラスやALC等の通常の外壁を対象としており、内圧を室内の圧力として風荷重を定めている。しかし、通常の外壁以外の部材、例えば手摺パネルや隔て板等の裏面が外気に接する部材や軒天井のように裏面が室内以外の空間となる外装材についても通常帳壁の風荷重を用いて設計を行っている。しかし、これらの外壁以外の部材は外圧が直近の外壁とほぼ同じ場合でも、内圧は外装部材によって異なると考えられる。したがって、通常の外壁以外の部材に帳壁の荷重を用いることは、風荷重の過剰もしくは不足が懸念され、これらの外装部材に加わる風力を把握することは重要である。

部材の裏側が閉鎖空間となる場合、内圧は外圧分布、部材表側と裏側をつなぐ隙間面積、部材裏側の体積等の

影響を受け¹⁾、部材の風荷重を検討するにはこれらを適切に把握、評価する必要がある。風洞実験は1/300～1/400の縮尺模型を用いるため、微細な隙間を持つ閉鎖空間の圧力の測定には適していない。内圧（閉鎖空間の圧力）の評価を含めた検討においては、実スケールの建物における外圧と内圧の測定²⁾や、外圧から内圧を予測する式の提案³⁾が行われている。

そこで、筆者らは外装部材に加わる風力、特に内圧として一般的な室内圧を仮定することが適切でない外装部材の風力の把握を目的とし、超高層建物において外装部材に作用する外圧および内圧の実測を行っている。本報では、風圧測定システムの概要および超高層建物のボイド内廊下の天井を対象とした実測結果の一例を紹介するとともに、今後の課題について検討する。

2. 風圧測定システム概要

測定に用いた差圧計は、Setra社製のモデル239とし

た。差圧計の分解能は、TVL法⁴⁾により求めたほぼ同時に作用すると見なせる変動の限界周期 $T_c (=0.2\text{sec})$ を満たすよう選定した。このとき、対象とする部材の拡がり 1m 、風速 42m/s 、ディレイファクターの値は8とした。差圧計は温度影響が小さいため、測定期間中の校正は行わない。差圧計の主な性能を表-1に、差圧計の概観を写真-1にそれぞれ示す。差圧計の測定圧側、基準圧側はともに内径 6mm のチューブに接続する。チューブの長さは測定圧側 1m 、基準圧側 $5\text{m} \sim 25\text{m}$ とする。基準圧側のチューブは静圧箱(20cm×25cm×25cm)に接続し、各測定点で同一基準圧となるようにする。測定圧側チューブの周波数伝達特性を図-1に示す。測定対象である 5Hz 程度までは、チューブの伝達特性はほぼフラットである。また、基準圧側のチューブについては吉田らの研究⁵⁾から推測し、測定周波数域ではほぼフラットとした。測定データの伝達特性の補正は行わない。

差圧計からの出力は $\pm 2.5\text{V}$ の電圧出力としケーブルを介して、ADコンバータ(CONTEC製 ADA16-32/2(CB)F, 16bit)に入力する。ケーブルの長さは $5\text{m} \sim 30\text{m}$ とし、電圧降下は小さいことを確認している。

測定データは10分間ごとに平均値、標準偏差、最大値および最小値の統計値を算出し、統計値ファイルおよび時刻歴ファイルを保存する。データの保存方法は連続保存する方法とある一定値を超えた場合に保存を開始するトリガーモードの2つの方法がある。

表-1 差圧計の性能

Full Scale	$\pm 249\text{Pa}$
精度	$< \pm 0.14\% \text{FS}$
温度影響	$< \pm 0.018\% \text{FS}/^\circ\text{C}$
時定数	$< 10\text{msec}$



写真-1 差圧計概観

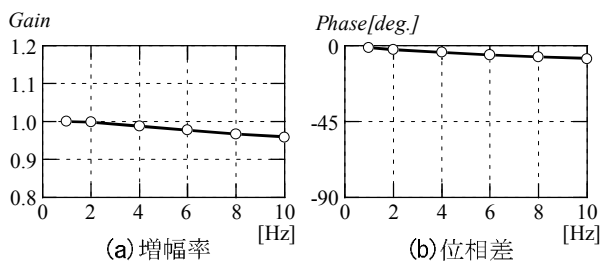


図-1 周波数伝達特性 (内径6mm,長さ1m)

3. 実測概要

測定の対象とした建物は東京都の臨海地区に位置する33階建てのボイド型超高層建物である。測定建物は軒高 114.17m 、幅 85.5m 、奥行き 68m 、ボイドの大きさは幅 44.5m 、奥行き 39m である。建物のボイド側は外部廊下となっており、外部廊下の天井は二重天井である。

圧力の測定点は、ボイド側外部廊下の天井面2箇所(1箇所につき天井表面と裏面の2点測定)および建物北側外壁面1箇所(外側のみ測定)の計3箇所5点とし、建物18階に設けた。静圧箱および測定用PCは室内に設置した。測定点位置を図-2に示す。

天井面測定用の差圧計はダウンライト取付用のスリーブを利用し天井裏側に設置した。外壁面測定用の差圧計は室内に設置し、クーラースリーブを利用して測定圧側チューブを外壁面に開放した。天井測定点の差圧計設置

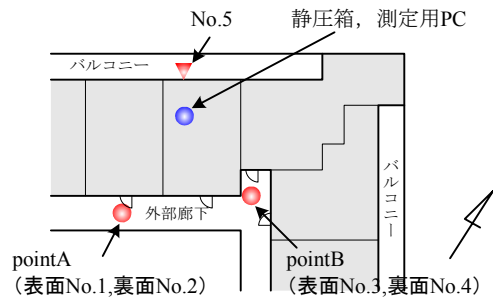


図-2 圧力測定点

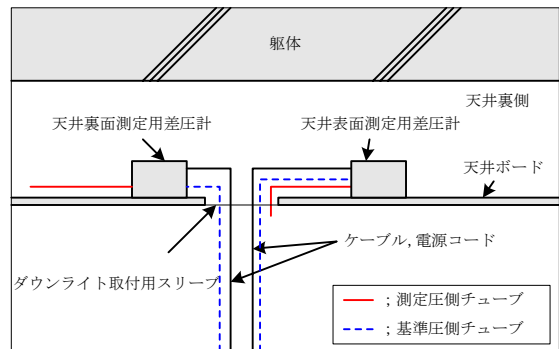


図-3 差圧計設置方法 (天井測定点)



(a) 天井測定点



(b) 測定用PC

写真-2 機器設置状況

方法を図-3に、機器設置状況を写真-2に示す。

pointA,pointBの天井の裏側はそれぞれ躯体と天井ボードに囲まれた閉鎖空間となっているが、前面にガラリを持つメーターボックス内部と一体の空間となっている。このため、一般的な天井と比較すると天井の表側と裏側をつなぐ隙間が多いと考えられる。

サンプリング周波数は50Hzとし、測定したデータは連続保存した。差圧計により測定される圧力は、各測定点位置での圧力と室内圧の差圧であり、外壁面(No.5)の圧力は外壁に加わる風力と考えることができる。

4. 実測結果

ここでは、測定期間のうち比較的大きい風圧を測定した2008年11月22日のデータについて示す。

(1) 実測時のアメダスデータ

測定建物の最寄りの風向風速観測データとして、新木場測定局のアメダスデータがある。新木場測定局の概要を表-2に、新木場測定局の11月22日の風向風速データを図-4にそれぞれ示す。図-4より0時～12時は風速5m/s程度、風向北北西～北でほぼ安定している。なお、風向北北西は測定建物の外壁面の測定点(No.5)にほぼ正対する風向である。また、測定建物北側は運河に面しており、比較的開けた周辺状況となっている。

(2) 実測データ

pointAの天井表面(No.1)、裏面(No.2)および外壁面(No.5)での10分間ごとの平均風圧、最大風圧および最小風圧を図-5に示す。ピーク値の評価においては、移動平均は行っていない。0時～12時では、平均風圧の値は天

表-2 風向風速測定局概要

所在地	江東区新木場 東京ヘリポート出張所
風速計高さ	18.2m

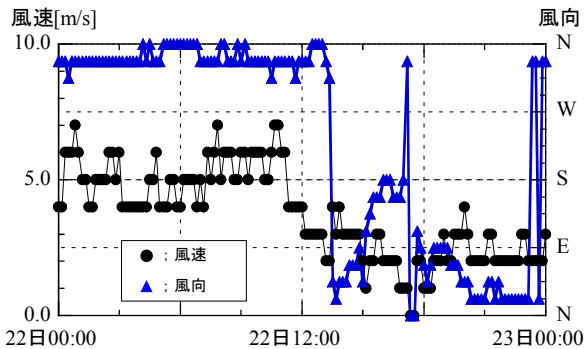
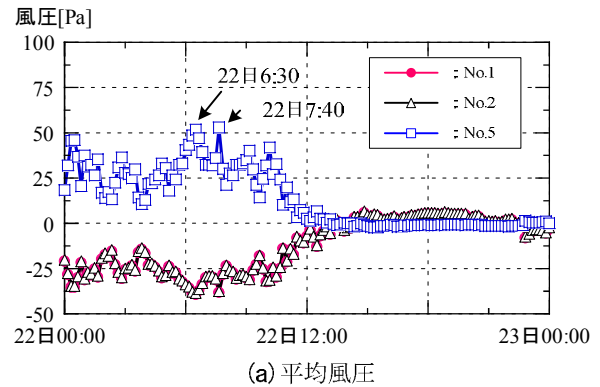


図-4 新木場測定局風向風速データ (11月22日0時～23日0時)

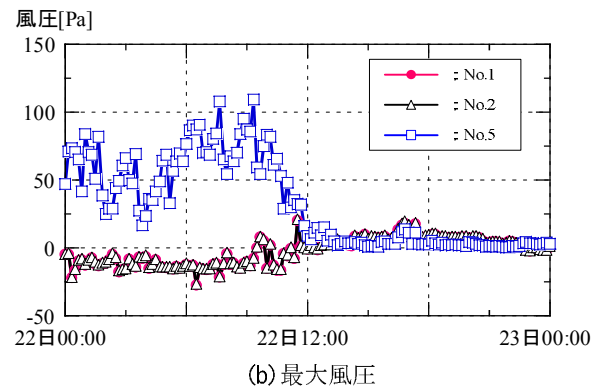
井の表面裏面(No.1とNo.2)ではほぼ等しく負圧となる。このとき、外壁面(No.5)の値は正圧となり、最大で約50Paである。外壁面の平均風圧係数を1として、測定建物の軒高風速を推定すると最大で約9m/sである。22日12時～23日0時では、いずれの測定点も値は小さい。最大風圧、最小風圧の値も、天井の表面裏面はほぼ等しい。

pointAの天井表面裏面(No.1とNo.2)、pointA,pointBの天井表面2点間(No.1とNo.3)およびpointAの天井表面と外壁面(No.1とNo.5)の相関係数を図-6に示す。

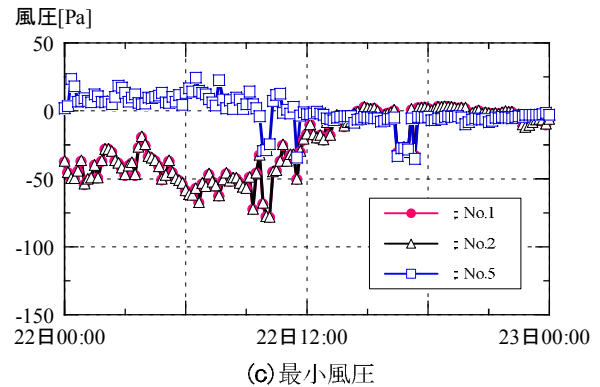
0時～12時では、天井表面2点間(No.1とNo.2)の相関係数はほぼ1であり、ポイド内はほぼ様な圧力場であるという実験結果⁶⁾と一致している。天井の表面裏面(No.1とNo.3)の相関係数もほぼ1であることから、天井の表側と裏側も同一の圧力場となっており、測定した天井に加わる風力は非常に小さいといえる。これは、測



(a) 平均風圧



(b) 最大風圧



(c) 最小風圧

図-5 風圧 (11月22日0時～23日0時)

定した天井がボイド内にあり、ボイド内はいずれの場所もほぼ同じ圧力となること、天井の表側と裏側をつなぐ隙間が大きく、天井裏面の圧力が天井表面の圧力にほぼ追従しているためと考えられる。しかし、片廊下型建物の廊下の天井のように外部に面する天井には、部分ごとに異なる外圧が作用するため、今回の結果とは異なり、ある程度の荷重が作用するものと推測される。また、天井表面（ボイド内壁面）と外壁面（バルコニー側壁面）の相関係数は約-0.9と負の相関が高く、実験結果とは異なる傾向となる。これは、基準圧を室内圧としたことが原因と考えられる。つまり、通常室内圧はボイド内壁面とバルコニー側壁面の圧力場との相関が高いため、例えば天井表面の測定値は外壁面の圧力場の影響が含まれた値であると推測される。基準圧は安定した定常圧であることが求められるため、静圧箱の設置場所については今後の検討課題といえる。

pointAの天井表面（No.1）、裏面（No.2）および外壁面（No.5）の時刻歴波形を図-7に、パワースペクトル密度を図-8に示す。測定データは外壁面No.5の風圧値が大きい22日6:30と23日7:40の10分間のデータとした。無次元化する際の風速 U_H は外壁面の平均風圧から推定した測定建物の軒高風速、代表長さ B は建物幅とした。図-7、図-8より、測定データは高周波数成分が少なく、周期の長い低周波数成分に支配されていることがわかる。

5. おわりに

超高層建物のボイド内の天井に加わる外圧と内圧の実測を行った。測定した天井に加わる風力は非常に小さかった。この結果は天井の風力の一例であり、ボイド内ではない天井、あるいは天井裏面の容積やそこにつながる隙間面積によってはこの結果とは異なり、ある程度の荷重が作用するものと考えられる。今後も天井やその他の外装部材に作用する風圧の実測を行い、データの蓄積を行う予定である。また、今後の測定では基準圧の測定方法や部材表側と裏側をつなぐ隙間面積や部材裏側の容積についても合わせて検討を行う。

参考文献

- 1) 茅野紀子ほか：耐風設計における建築物の室内圧に関する研究，日本風工学会誌，第56号，pp.11-20,1993.7
- 2) 茅野紀子ほか：外装二重壁の外壁面に作用する風圧力の実測，日本建築学会技術報告集，第4号，pp.25-30,1997.3
- 3) 岡田創ほか：屋根瓦裏面に作用する風圧予測に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第73巻第633

号 ,pp.1943-1950,2008.11

- 4) Lawson, T. V. : Wind Effects on Buildings, Vol.2, Applied Science Publishers, pp.192,1980
- 5) 吉田正邦ほか：変動圧測定における導圧管の周波数伝達特性，鹿島建設技術研究所年報第34号，pp.207-212,1986.6
- 6) 作田美知子ほか：高層建物のボイド内の風圧特性に関する研究，日本建築学会大会梗概集, B-1, pp.125-126, 2007

相関係数

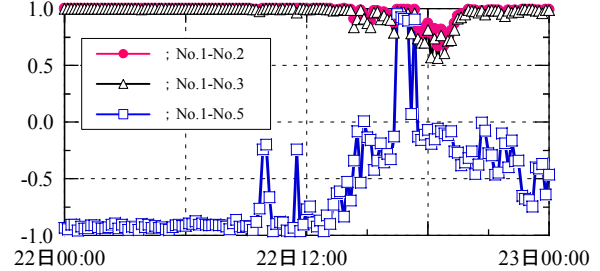
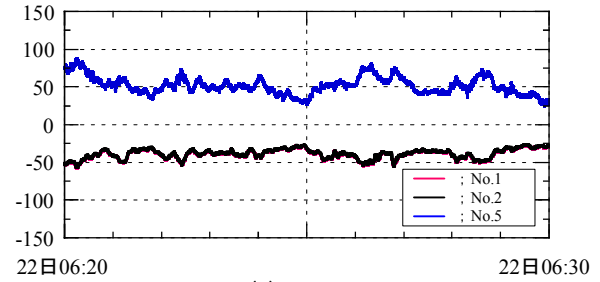


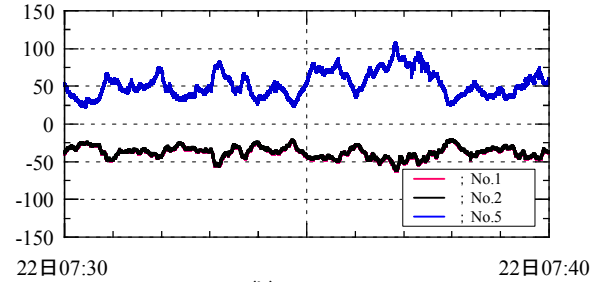
図-6 相関係数（11月22日0時～23日0時）

風圧[Pa]



(a) 22日6:30

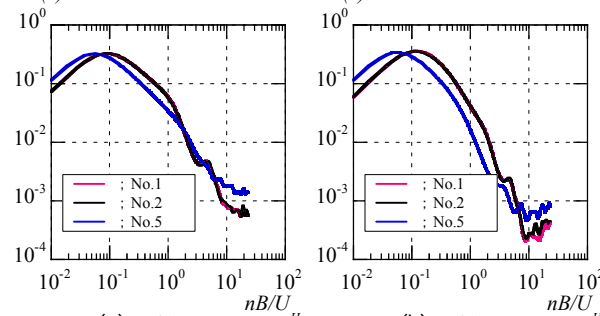
風圧[Pa]



(b) 22日7:40

図-7 風圧の時刻歴波形

$nS(n)/\sigma^2$



(a) 22日6:30

(b) 22日7:40

図-8 パワースペクトル密度