

物流倉庫中車路壁面に作用する風圧力の性状

西村 元吾 森田 隆司 大塚 友理* 佐々木 康人* 櫻井 郁斗*
Gengo Nishimura, Takashi Morita, Yuri Otsuka, Yasuhito Sasaki, Fumito Sakurai

概 要

大型物流倉庫では、建物規模により中車路形式が採用される場合がある。その際、中車路内部の壁面には風圧力が作用するが、その性状については明らかにされていない。

本研究は、中車路のある物流倉庫を想定した縮小模型により風洞実験を実施し、中車路壁面に作用する風圧の性状を調査したものである。実験パラメータは、建物の奥行き寸法、ランプウェイの有無とした。

実験の結果、全風向中で最大ピーク風圧係数の最大値を示したのは、いずれの試験体も出入口付近の測定点であること、奥行き方向の寸法変化（1.5倍）の影響は小さいこと、ランプウェイの遮蔽効果により最大ピーク風圧係数の最大値は出入口付近で0.5以上小さい値を示すことなどを明らかにした。

Characteristics of Wind Pressure on the Wall of the Central Roadway in a Logistics Warehouse

Abstract

Depending on the scale of the building, a central roadway may be adopted in large logistics warehouses. In this case, although wind pressure acts on the wall surface inside the central roadway, its characteristics have not been clarified.

In this study, wind tunnel experiments were conducted using a scale model of a logistics warehouse with a central roadway, and the characteristics of the wind pressure acting on the walls of the central roadway were investigated. The experimental parameters were the depth dimension of the building and the presence or absence of a rampway.

From the results of the experiments, it was found that the maximum value of the maximum peak wind pressure coefficient in all wind directions was obtained at measurement points near the entrance for all test specimens, the effect of dimensional change in the depth direction (factor of 1.5) was small, and the maximum value of the maximum peak wind pressure coefficient showed a value smaller than 0.5 near the entrance due to the shielding effect of the rampway.

キーワード：物流倉庫，中車路，ランプウェイ，平均風圧係数，
ピーク風圧係数，風洞実験

*株式会社フジタ 技術センター

1. はじめに

大型物流倉庫では、建物規模により中車路形式が採用される場合がある。その際、中車路内部の壁面には風圧力が作用するが、建築基準法告示¹⁾、建築物荷重指針²⁾等には示されておらず、また、その性状については明らかにされていない。

本研究は、中車路のある物流倉庫を想定した縮小模型により風洞実験を実施し、中車路壁面に作用する風圧の性状を確認することを目的とした。

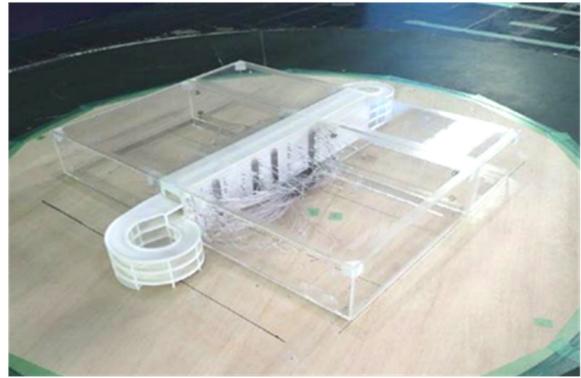


写真1 試験体一例(試験体 No. 3)

2. 実験概要

中車路を有する4階建て物流倉庫の模型を用いて実験を行った。表1に試験体一覧、図1に試験体形状を示す。また、写真1に試験体の一例、写真2に導圧チューブと圧力測定孔を、写真3に実験状況を示す。模型は、幅200mmの長方形平面で高さ30mmの物流倉庫を想定し、縮尺を1/250として幅800mm、高さ120mmとした。奥行き及びランプウェイの有無をパラメータとし、3種類の実験を行った。測定点は中車路の出入口から9地点に、それぞれ5点ずつ(天井、西側(上部,下部),東側(上部,下部))設けた。

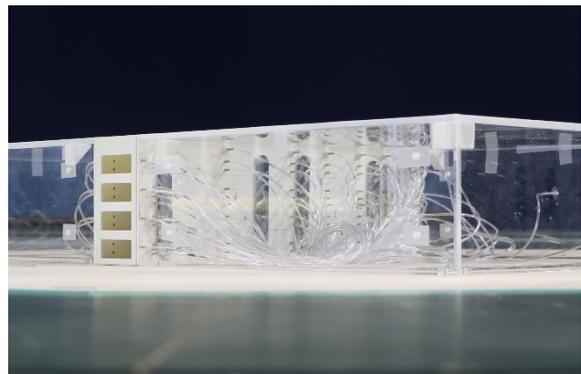


写真2 導圧チューブと圧力測定孔

使用風洞は(株)フジタ技術センター所有の回流式境界層風洞装置(測定洞断面:3m(W)×1.8m(H))である。実験時の風洞気流は、平成12年建設省告示

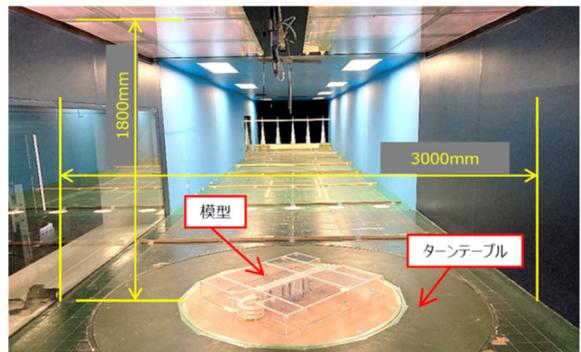


写真3 実験状況

表1 試験体一覧 (単位: mm)

試験体 No.	形状 (幅B×奥行きD×高さH)	中車路 (幅b×高さh)	ランプウェイの有無
1	800×400×120	4階: 56×33 1階~3階: 56×24	無し
2	800×600×120		無し
3	800×600×120		有り

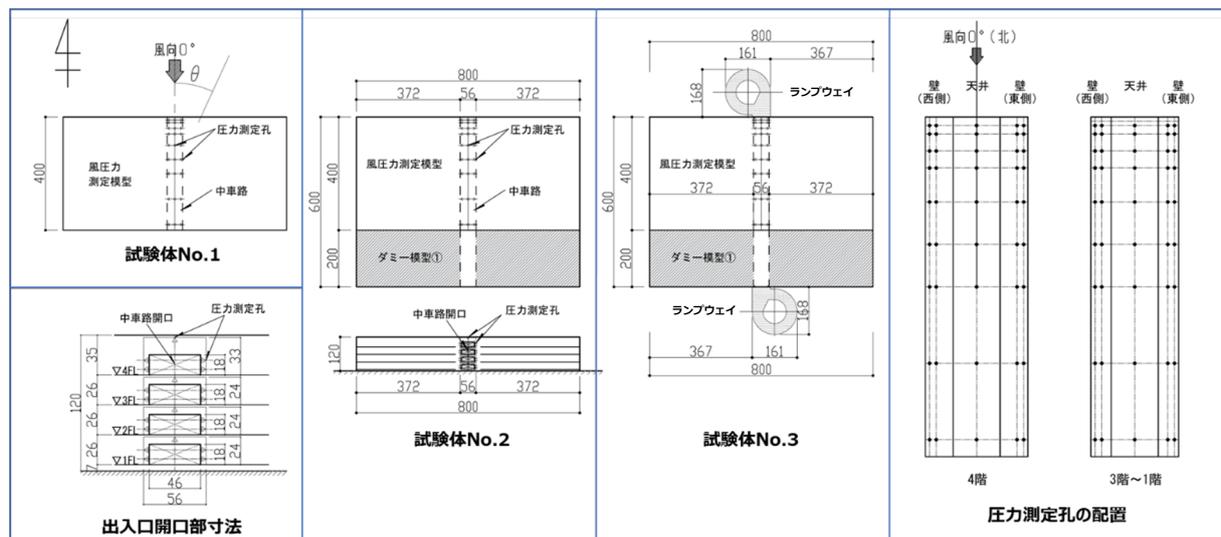


図1 試験体形状

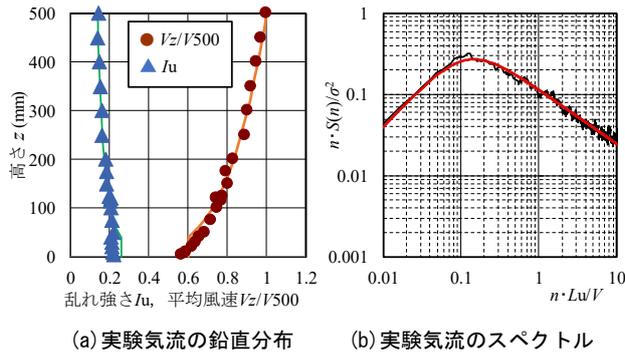


図2 実験気流

第 1454 号に示された地表面粗度区分Ⅲの気流を再現した。気流の鉛直方向分布及び高さ 500mm 位置でのパワースペクトルを図 2 に示す。(a) 図のマーカーは実験気流、線は目標とした気流、(b) 図の黒線は実験気流のスペクトル、赤線は風速スペクトルの計算値である。実験風向は、図 1 に示すように、開口部を有する面に正対する風向を $\theta=0^\circ$ とし、 $\theta=355^\circ$ まで 5° 間隔の 72 風向とした。

実験風速は建物の基準高さ H において約 8.5m/s とした。測定のスプリング周波数を 1000Hz とした。実験で得られた各測定点の時刻歴データを用いて、実時間 1 秒に相当するサンプリング数の移動平均時刻歴データを作成し、実時間 10 分間相当の 6 波のアンサンブル平均値として、平均風圧係数、最大、最小瞬間風圧係数（ピーク風圧係数）を評価した。

3. 実験結果

実験で得られた風圧力は基準速度圧で無次元化し風圧係数で評価する (式(1))。各測定点に作用する風圧力 P の符号は、当該面を内に押す方向に作用する圧力 (正圧) を「+」、表面を外に引く方向に作用する圧力 (負圧) を「-」とした。なお、各測定点に作用する風圧については平均値とピーク値を測定しているため、ここでは、これらの風圧係数をそれぞれ平均風圧係数 C_{pm} 及びピーク風圧係数 C_{pmax} 、 C_{pmin} と表わす。

$$C_p = \frac{P}{q_H} \quad (1)$$

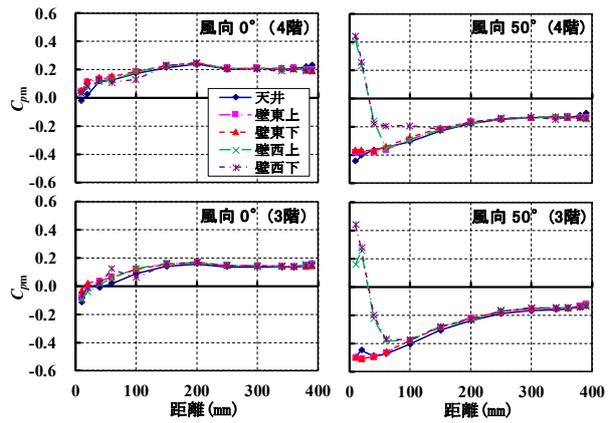
ここで、 C_p は風圧係数、 P は風圧力、 q_H は基準速度圧 ($=0.5 \rho V_H^2$ (ρ : 空気密度、 V_H : 基準高さでの風速)) である。

3.1 平均風圧係数

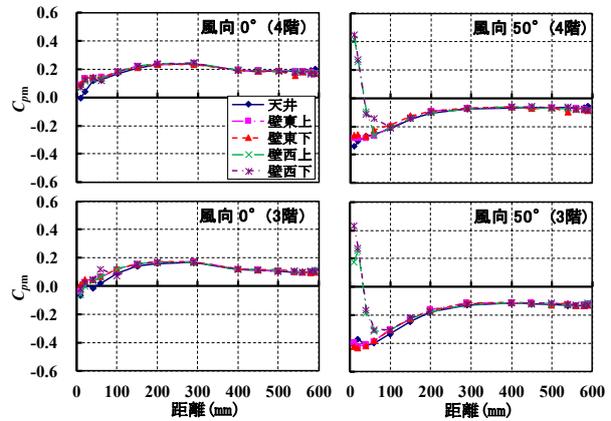
図 3 に平均風圧係数分布の例を示す。1~3 階は

同様の傾向を示したため、代表として 4 階、3 階の結果を示した。横軸は中車路北側出入口から測定点までの距離である。ここで風向は 0° (開口部に正対する風向)、 50° (3.2 に示すピーク風圧係数が大きくなる風向) とする。風向 180° (風向 230°) のときの北側出入口から中央地点までの結果を、風向 0° (風向 50°) の風下側の結果と同一と捉え、中央地点以降の結果を拡張している。

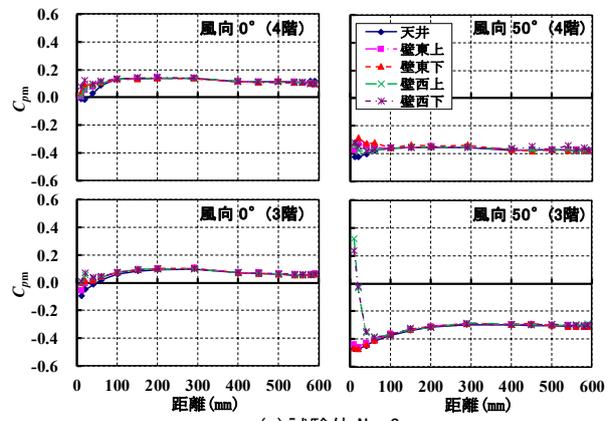
風向 0° の場合、風上側出入口付近から 150mm ~200mm まで漸増した後、風下にかけて一様に分布し比較的一定値を示した。風向 0° では 3 試験体



(a) 試験体 No. 1



(b) 試験体 No. 2



(c) 試験体 No. 3

図3 平均風圧係数分布の例

共に同等の数値を示している。4階で正圧が生じており、風上側出入口付近で 0.0 程度、風下側では 0.1~0.2 程度を示した。3階では風上側出入口付近で負圧-0.2~-0.1 が生じており、風下側では正圧 0.05~ 0.25 程度を示した。1~2階も3階と同様の値を示していた。

風向 50°の場合、試験体 No.1, No.2 では風向と正対する西側壁面で正圧が生じ、0.4~0.55 程度を示した。対面の東側壁面では負圧が生じ-0.5~-0.3 程度を示した。これは、袖壁からの剥離流の影響によるものと考えられる。

試験体 No.3 では、4階のすべての測定点で負の値となる。風上側出入口付近ではばらついてはいるものの、ほぼ一定で-0.4~-0.3 程度の値を示した。3階~1階では、風上側出入口付近の風向と正対する西側壁面では正圧 0.2~0.3 程度が生じた。また、対面の東側壁面では負圧-0.5~-0.4 程度が生じている。すべての試験体で、風下側では一様に分布した。

奥行き方向の寸法変化 (1.5 倍) による違いとしては、試験体 No.1 と No.2 との比較から、ほぼ同様の圧力分布を示しており、影響は小さいと考えられる。ランプウェイの有無による違いとしては、試験体 No.2 と No.3 との比較から、ランプウェイの遮蔽効果により、風向 0°の場合、正圧、負圧共にやや絶対値が小さい値となった。また、ランプウェイの有無により、風向 50°では1~3階と4階で異なる傾向を示した。

3.2 ピーク風圧係数

最大及び最小ピーク風圧係数の分布の例を図 4 に示す。代表として4階、3階の結果を示す。横軸は中車路北側出入口からの距離である。いずれの図も最大値、最小値が生じた風向の結果である。試験体 No.1, No.2 の場合、最大ピーク風圧係数の最大値が生じた風向では、風上側出入口付近西側壁面で大きな値を示した後、風下にかけて一様に分布し弱い正圧の比較的一定値を示した。このとき風向は 50°で最大値は試験体 No.1 で 2.76, No.2 で 2.59 を示し、いずれも4階西側壁面である。東側壁面及び天井面では、出入口から風下にかけて比較的一定値を示した。

最小ピーク風圧係数の最小値が生じた風向では、壁面、天井面ともに風上側出入口から少し入った位置で最小値を示し、風下にかけて一様に分布し漸増した後、一定値を示した。壁面の最小値は試験体 No.1 では風向 50°の3階西側壁面で-1.43, 試験体 No.2 では風向 315°の3階東側壁面で-1.28 を示

した。ランプウェイを設置した試験体 No.3 の場合、試験体 No.1, No.2 とほぼ同様の分布の傾向を示しているが、最大ピーク風圧係数の最大値は、3階の風上側出入口付近西側壁面で 2.0 程度の値を示した。一方、4階では、1.1 を示し、ランプウェイ設置のない試験体 No.2 に対して半分以下の値となった。これは、ランプウェイからの剥離流により4階中車路に流入する風量が低減した影響によるものと考えられる。

各測定点における全風向中のピーク風圧係数の最大値及び最小値の分布を図 5 に示す。模型が対称のため奥行き方向中央 (試験体 No.1 : 200mm,

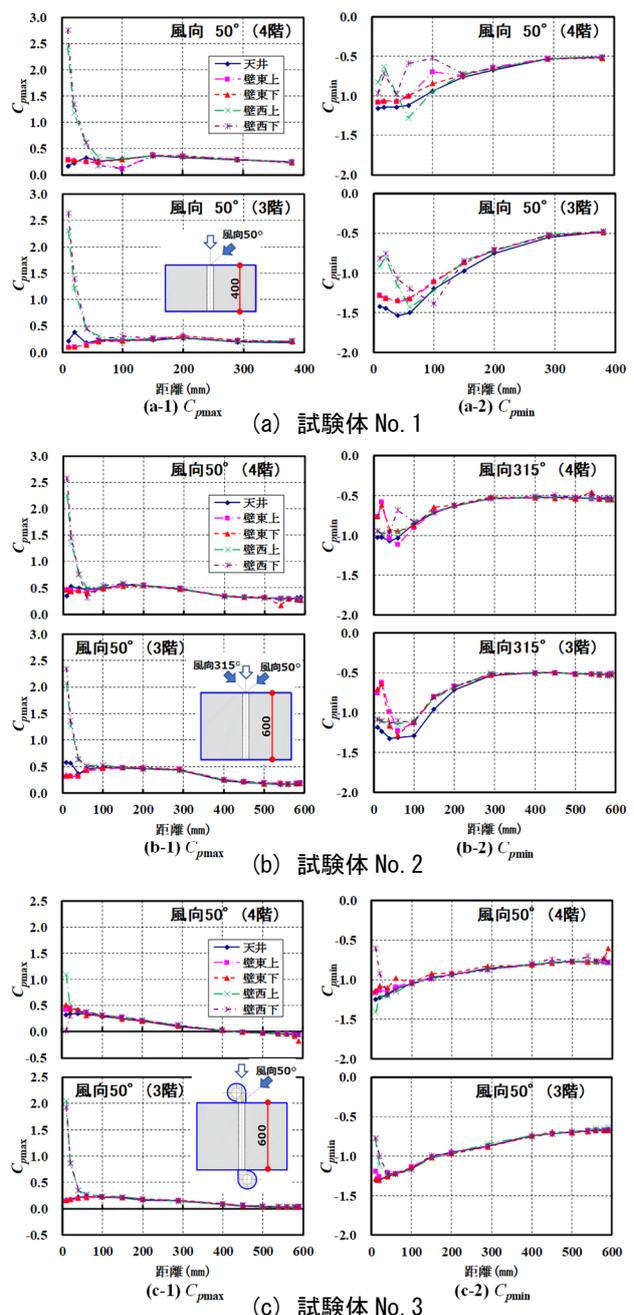
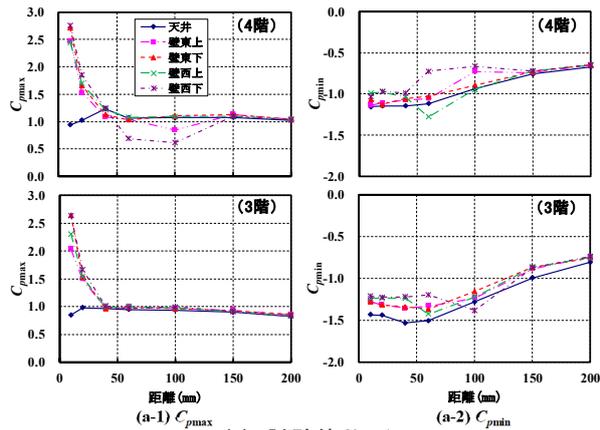
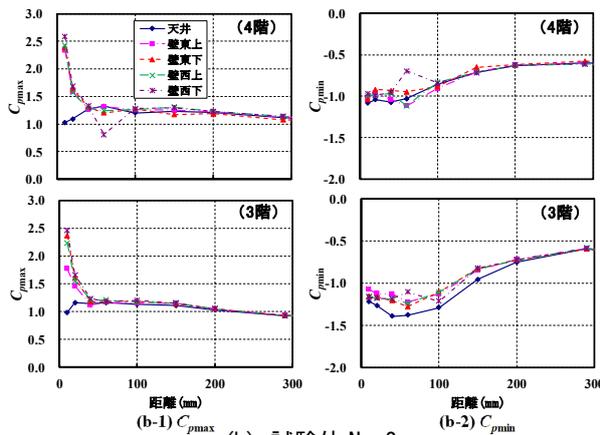


図 4 最大及び最小ピーク風圧係数分布の例

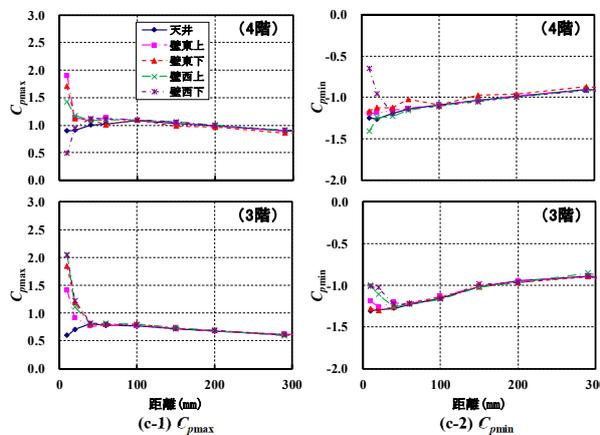
試験体 No.2, No.3 : 300mm) までの分布を示す。壁面の最大ピーク風圧係数は、出入口付近で最も大きな値を示し、内部は比較的一定値を示した。天井では出入口から内部まで比較的一定値を示した。最小ピーク風圧係数は出入口から少し入った位置で最も小さい値(絶対値が大きい値)を示した後、中央にかけて比較的一樣に漸増する。中央付近の負圧の最小値は、試験体 No.1 の-0.75, No.2 の-0.6 に対して、試験体 No.3 では、-0.9 であり、No.3



(a) 試験体 No. 1



(b) 試験体 No. 2



(c) 試験体 No. 3

図5 全風向中のピーク風圧係数の最大値及び最小値の分布

の方が若干小さい値(絶対値が大きい値)を示した。

測定点を配置した中車路壁面の各断面における全風向中のピーク風圧係数の最大値及び最小値の分布を図6に示す。最大ピーク風圧係数の最大値は、いずれの試験体も4階から1階にかけて低減している。最小ピーク風圧係数の最小値は、試験体 No.1, No.2 の場合、3階、2階で小さい値(絶対値が大きい値)を、試験体 No.3 の場合、4階、3階で小さい値(絶対値が大きい値)を示した。

奥行き方向の寸法変化(1.5倍)による違いとしては、試験体 No.1 と No.2 との比較から、ほぼ同様の圧力分布を示しており、奥行き方向の影響は小さいと考えられる。

ランプウェイの有無による違いとしては、試験体 No.2 と No.3 との比較から、最大ピーク風圧係

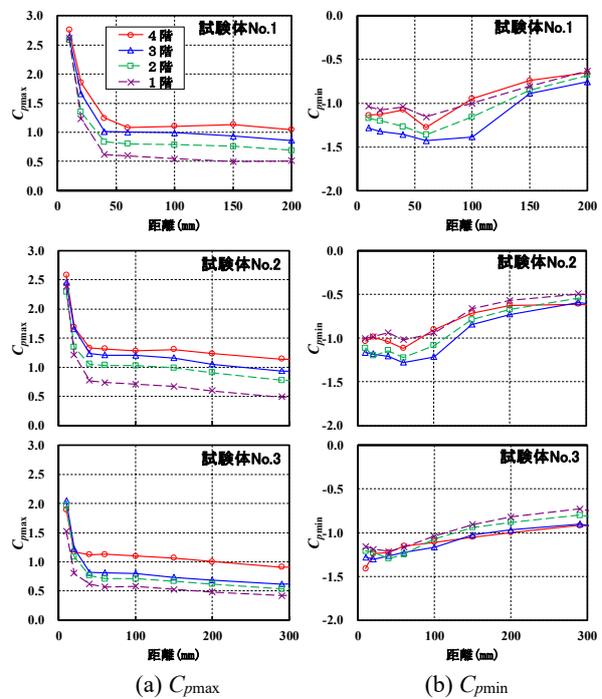


図6 中車路壁面 各断面における全風向中のピーク風圧係数の最大値及び最小値の分布

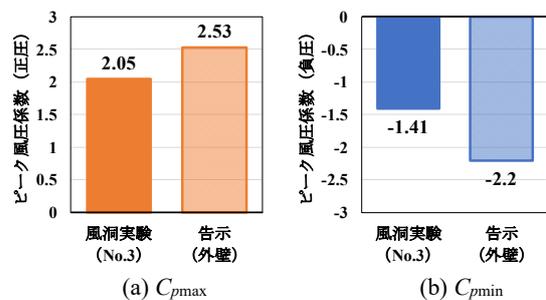


図7 ピーク風圧係数の風洞実験測定値と建築基準法告示(外壁)の比較

数の最大値は、出入口付近では試験体 No.3 の方が 0.5 以上小さい値を示した。ランプウェイの遮蔽効果によるものと考えられる。

図 7 にピーク風圧係数の風洞実験測定値と建築基準法告示(外壁)の比較を示す。実物件で想定されるランプウェイを設置した場合(試験体 No.3)のピーク風圧係数の最大値及び最小値は、出入口付近で $C_{pmax}=2.05$, $C_{pmin}=-1.41$ となった。一方、建築基準法告示で示されている外壁のピーク風圧係数は今回のモデルと同規模の場合、正圧: 2.53、負圧(隅角部): -2.2 である。したがって、仮に建築基準法告示の外壁のピーク風圧係数により設計用風荷重を算定した場合は、若干過剰設計になると考えられる。

4. まとめ

物流倉庫中車路壁面の風圧係数について、建物の奥行きとランプウェイの有無をパラメータとして風洞実験を行った。その結果、得られた知見を以下に示す。

- (1) 全風向中で最大ピーク風圧係数の最大値を示したのは、いずれの試験体も出入口付近の測定点である。
- (2) 全風向中で最大ピーク風圧係数の最大値は、いずれの試験体も 4 階から 1 階にかけて低減している。

- (3) 全風向中で最小ピーク風圧係数の最小値は、ランプウェイ無しの場合、3 階、2 階で小さい値(絶対値が大きい値)を、ランプウェイ有りの場合、4 階、3 階で小さい値(絶対値が大きい値)を示した。
- (4) 奥行き方向の寸法変化の影響は小さい。
- (5) ランプウェイの遮蔽効果により最大ピーク風圧係数の最大値は出入口付近で 0.5 以上小さい値を示した。

参考文献

- 1) 建設省告示第 1454 号, 1458 号, 2000
- 2) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説, 2015.2
- 3) 大塚友理, 西村元吾, 森田隆司, 佐々木康人, 櫻井郁斗: 物流倉庫中車路平面に作用する風圧力の性状(その 1) 実験概要および平均風圧係数, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), B-1, pp.95-96, 2023.9
- 4) 西村元吾, 大塚友理, 森田隆司, 佐々木康人, 櫻井郁斗: 物流倉庫中車路平面に作用する風圧力の性状(その 2) ピーク風圧係数, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), B-1, pp.97-98, 2023.9

執筆者紹介

ひとこと

今後も更に規基準にない知見を蓄積し、外装材及び構造部材の風荷重に対する構造実験の実施を含め、耐風安全性の向上に努めていきたい。



西村 元吾
修士(工学)