

屋根に加わる風圧力について

石 崎 潑 雄・吉 川 祐 三

ON THE WIND PRESSURES ON A ROOF

By *Hatsuo ISHIZAKI and Yuzo YOSHIKAWA*

Synopsis

The roofs of houses are wholly or locally damaged by high winds, because strong suction acts on some parts of the roof and occasionally vortices are generated in the region near the windward edge of the roof. The characteristics of the wind pressures on a gable roof were studied by the full-scale measurement. Mean wind pressure coefficients for the suction are smaller than -1.0 in many cases, and the observed maximum value in magnitude is -1.38 . The periodic components of the wind pressure fluctuations were sometimes observed. The peak factors for wind suction are 4 or 5. Model tests were performed in the turbulent and smooth flow of a wind tunnel, and the results are discussed in comparison with those of the full-scale measurement.

1. ま え が き

台風等の強風による住家の被害のうち屋根の破損の占める割合はかなり大きい。現在の屋根の設計用風圧力は建築基準法施行令第87条で定められているが、軒端や棟付近の屋根局部に関しては建設省告示第109号でその風力係数を -1.5 としている。さらにプレハブ住宅の耐風設計では庇に対する風力係数を -2.0 にとることもある。昨今日本の伝統的な屋根葺き材である瓦に代って新しい建材が用いられることも多くなり、屋根の形が変わって勾配が緩やかになったりしたために屋根に対する風圧力の問題は重要になってきている。このことは海外でも同様であり屋根の風による被害は大きな問題とされている¹⁾。

屋根に加わる風圧力に影響する因子としては、屋根全体の形、軒の出の長さや形、屋根勾配、家屋の開口部の位置と面積、通気性が考えられる。さらに風の性質として乱れの強さやスケールなどとそれに影響を与える周辺の地形や他の建物の配置なども考慮しなければならない。空力学的な現象としては剥離による渦が発生することや剥離した流れが屋根面に再付着することなどが考えられる。多くの影響因子があることに加えて実際の被害では材料が劣化していたことや、施工が不十分であったことが風力と被害との因果関係の把握を一層困難にしている。

屋根面の風圧力に関する乱流中での風洞実験は Jensen & Franck がかなり詳細に行なっており²⁾、石崎、許は屋根勾配と庇の出の長さを変えた模型を使って層流中での風圧分布を測定している³⁾。これらは主に静的な風圧力について考察している。石崎、許はさらに変動風圧力に注目して実物建物とその模型での風圧測定を行なった⁴⁾。その結果ほぼ規則的な風圧変動があることも見つけてその変動の幅について考察をしている。最近では Cermak, Peterka & Dreher が T 字形の平面をもつ切妻屋根の住宅について風洞実験を行なった⁵⁾。ここでは平面風圧の他に変動風圧の標準偏差値や最大値の評価を行なっている⁶⁾。これと同じ建物について Marshall は実物測定を行なっている。Eaton, Mayne & Cook は屋根勾配を機構的に変えることのできる実験用の実物大の家屋で屋根全面に多くの風圧計を配置して大がかりな観測を行なっている⁷⁾。このように屋根の耐風性に関してはいろいろな研究成果はあるが以前として多くの問題点を残している。われわれは京都

大学防災研究所の潮岬風力実験所で実験用プレハブ住宅を使って種々の実験観測を実施中であるがその一部として屋根風圧の測定を行なっている。本論文ではその結果について追べるとともにその建物に関する風洞模型実験の結果をも示す。

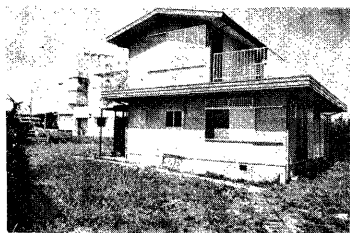


Photo 1. Test house at Shionomisaki Wind Effect Laboratory.

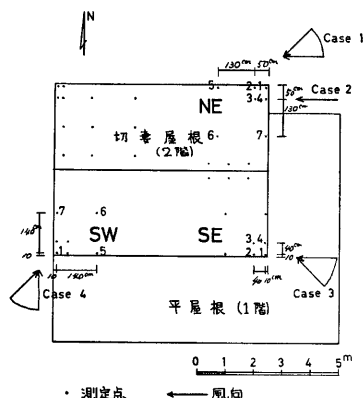


Fig. 1. Arrangements of measuring points on the roof of the test house.

3. 観 測 結 果

風圧のアナログデータはAD変換器 (TEAC 社製 DP-300) でデジタル化した後小型計算機 (日本ミニコン製 NOVA MODEL-01) で計算処理した。風圧力は時間平均した風圧力 P と平均値からの標準偏差値 P_{rms} と最大風圧 $\hat{P}$ を求めた。さらにそれらを無次元化するため平均風速 V から求めた平均速度圧 $\frac{1}{2} \rho V^2$ (ρ : 空気密度) で風圧力を割って平均風圧係数 C_p , 変動風圧係数 C_{rms} , 最大風圧係数 $C_{\hat{p}}$ を算定した。具体的には観測した記録の中から4つのケースについて10分間ごとのデータを解析した。Table 1 には得られた風圧係数の一覧を示す。ここでは風向は Fig. 1 に示す通りであり C_p, C_{rms} は0.5秒間隔で読み取った値から1分ごとに計算してその10個の平均値として10分間の $\bar{C}_p, \bar{C}_{rms}$ を示した。 $C_{\hat{p}}$ に関しては1分ごとに求めた $C_{\hat{p}}$ の10個の値のうちの最大値を示したが、ここでは風圧力は正負に変動するため負圧としての最大値を

2. 観 測 の 概 要

観測を行なったプレハブ住宅はセキスイハウス 2BF 型と呼ばれているもので軽量鉄骨構造である。この建物の外観を Photo 1 に示すが、1階の屋根は陸屋根で2階の屋根は切妻屋根である。切妻屋根の勾配は2寸5分でありその4つの隅角部に測定点を配置してある。Fig. 1 には屋根の概略と測定点の位置と番号を示している。各測定点には真鍮パイプを屋根面に直角に取付けて風圧測定孔とした。このパイプから内径9mmのビニール管で風圧計まで圧力を伝えた。風圧計 (小笠原計器製 WP-610型) は圧力差によるペロウズの動きを差動トランスで検出するもので長時間の連続使用に対して安定性の優れたものである。風圧計そのものの応答性は13Hz程度まで追従するが、今回の観測では圧力をビニール管を介在して伝達しているため測定した変動風圧の高周波数成分は減衰し応答性は風圧計の限界周波数よりも劣っていると思われる。測定した風圧の背圧は室内圧であり風圧計の一方の側は室内に開放している。基準風速は1階の屋根に建てたポールに取り付けた発電式3杯風速計で得た。その測定高度は屋根の棟から約2m高い。観測時には4台の風圧計から得られた直流電圧の出力をデータレコーダ (TEAC 社製 R-200型) で磁気テープに記録した。風速の電圧出力はタイムマークと共にペンレコーダに記録して風圧の記録と時間の対応がつかうようにした。観測は昭和49年から行なっているが現在まで取れた強風の記録はその年の8月31日から9月1日にかけて潮岬南方海上に台風7416号が接近した時のもののみであり今回の解析結果もその時のものである。

C_{max} , 最小値を C_{min} で示した。さらに自己相関係数, パワースペクトル, 相互相関係数, クロススペクトルの諸量も計算した。

3.1 平均風圧係数と変動風圧係数

平均風圧係数 C_p と変動風圧係数 C_{rms} の4つのケースについての計算結果を Figs. 2～5 に示すが実線は C_p を点線は C_{rms} を表わす。Fig. 2 は NE 隅角部における場合であるが, NE-1 点での C_p の値は -0.52 から -1.38 まで変化し NE-4 点では -0.34 から -0.93 まで変化する。これらの値は NE-2, 3 点での値と比較して大きい。NE-2 点での値は平均的には正であった。このケースでは NE-1, 4 点は風上側剝離端に近いので負圧の絶対値は大きいが, わずかに風下側に離れた NE-2, 3 点では負圧の絶対値は急激に小さくなる。 C_{rms} の傾向も同じで NE-1, 4 点では大きくて NE-2, 3 点での値の2倍程度である。Fig. 3

は同じく NE 隅角部の場合であるが NE-1, 6, 7 点の風圧係数を示す。NE-7 点での C_p は -1.0 程度であるが NE-6 点ではゼロ前後の値になり小さい。NE-1 点では $+0.24$ から -0.60 まで大きな時間的変化を示した。 C_{rms} は NE-1, 7 点で大きくて風上端より離れた NE-6 点では他の2点と較べて小さかった。Figs. 2, 3 に示されるように流れが屋根の縁部

Table 1. Wind pressure coefficients estimated from the 10 minutes' records of the four cases

	$\bar{C}_p$	C_{max}	C_{min}	$\bar{C}_{rms}$
NE-1	-0.86	-1.38	-0.52	0.98
2	+0.07	-0.16	+0.23	0.43
3	-0.20	-0.37	-0.09	0.50
4	-0.63	-0.93	-0.34	0.89
NE-1	-0.14	-0.60	+0.24	0.84
6	-0.00	-0.07	+0.11	0.37
7	-0.95	-1.23	-0.74	0.64
SE-1	-0.66	-0.83	-0.52	0.56
2	-0.51	-0.64	-0.06	0.43
3	-0.75	-0.88	-0.58	0.47
4	-0.66	-0.75	-0.54	0.41
SW-1	-0.04	-0.67	+0.42	0.91
5	-0.05	-0.25	+0.17	0.33
6	-0.75	-1.06	-0.79	0.55
7	-0.41	-0.57	-0.23	0.42

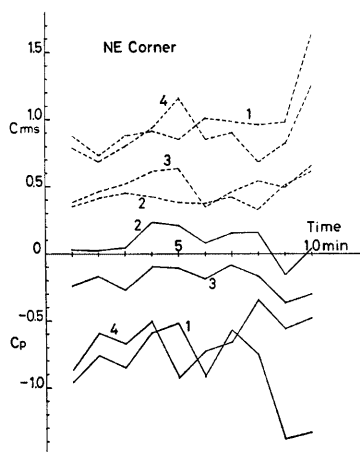


Fig. 2. The values of C_p and C_{rms} at NE-corner of the roof. (1)

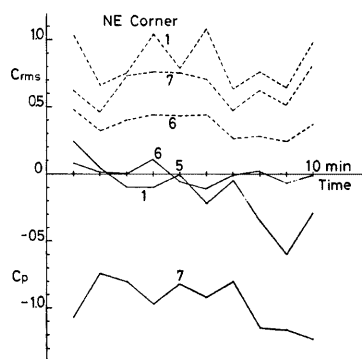


Fig. 3. The values of C_p and C_{rms} at NE-corner of the roof. (2)

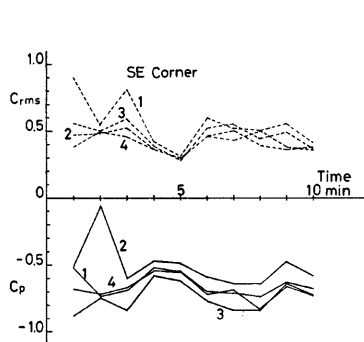


Fig. 4. The values of C_p and C_{rms} at SE-corner of the roof.

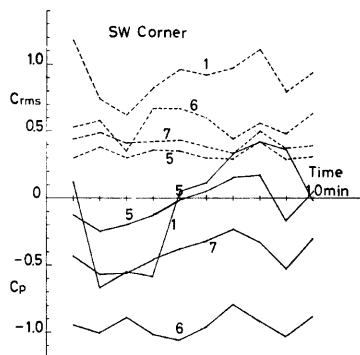


Fig. 5. The values of C_p and C_{rms} at SW-corner of the roof.

で剝離するときその端部に近い点での平均風圧係数は大きくて、10分間の平均値で -0.86 （ケース1のNE-1点）、 -0.95 （ケース2のNE-7点）であり1分間の値の最大値は -1.38 （ケース1のNE-1点）であった。これらの値は過去の風洞実験値や各国の規準と較べてはほぼ妥当なものと思われる。風上側の縁部から離れるにつれて負の風圧係数の絶対値は小さくなるが、その減少する割合は予想外に大きくて50cm離れると -0.20 （ケース1のNE-3点）、190cm離れると -0.00 （ケース2のNE-6点）であった。 C_{rms} もまた風下側に行くにしたがって順次減少した。Fig. 4は風向が東から南東の場合のSE-1, 2, 3, 4点の風圧係数である。SE-2点での C_p の値の一部を除いていづれも -0.5 から -0.9 の間にあり各点での値はかなり接近している。 C_{rms} も各点ではほぼ等しい値を示す。風上端部の南側の縁から10cmの距離にあるSE-2点でも0.5程度でありケース1, 2のNE隅角部での1, 4, 7点の値と比較して小さい。このケースでは1階の屋根が風上側にありその風上端で剝離したwakeの中に2階の屋根が包みこまれることによりこのような差がでてくるのではないと思われる。Fig. 5はSW隅角部での結果を示しこのときの風向は南から西である。風上隅角部に近いSW-1点では C_p は負から正へと大きく時間変化する。このことは風向変化がかなり大きかったことによると思われる。 C_{rms} は他のSW-5, 6, 7点よりも2倍程度大きいという傾向を示す。

3.2 最大風圧

ここでは最大風圧を peak factor として評価する。この peak factor は $P.F. = (\hat{P} - \bar{P})/P_{rms}$ と定義する。最大風圧は評価時間によって変るし超過確率の選択によっても変る。ここでは0.5秒で平均化した値の最大値をとった。負圧の側の方が絶対値が大きいのでここでの最大値は負圧としての値をとった。ケース1, 2でのP.F.の値の計算結果をFigs. 6, 7に示す。P.F.の値もかなり大きく変化を示し、平均的には3.0程度とみられるが大きい場合は4又は5になる。剝離端に近い場所での風圧変動は一般に正規分布しないからこの結果は矛盾しない。

Eaton 等は peak factor を P に対する平均化時間と超過確率 (percentile leve) を考慮して計算している⁷⁾。すなわち、1024秒の記録を1/32秒間隔でサンプリングして重なることなく平均化していくことにより最大値と平均化時間の関係を求めた。さらに全データ個数の中で唯一の最大値であるか、数個のデータを超える最大値であるかで超過確率を求めている。彼等の計算によると平均化時間を0.05秒としたときの唯一の最大値に対するP.F.の値は13となり、平均化時間を0.5秒にするとP.F.の値は8となる。0.5秒の平均化時間で10個のデータを超える場合にP.F.は4～5となりわれわれの結果と近くなる。この場合2048個のデータ

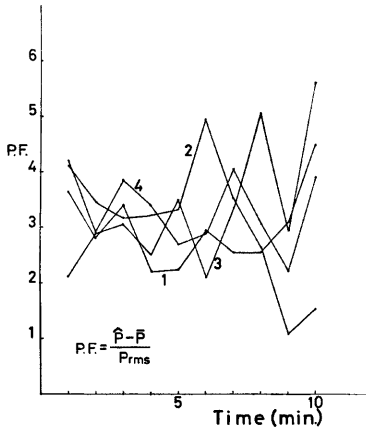


Fig. 6. Peak factors of the wind pressures at NE-corner of the at NE-corner of the roof. (1)

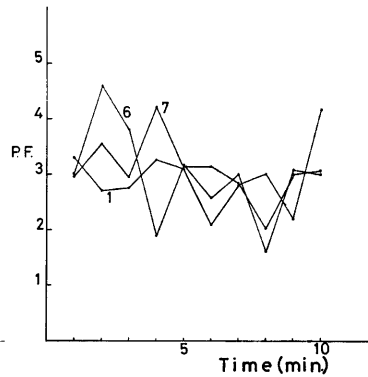


Fig. 7. Peak factors of the wind pressures at NE-corner of the roof. (2)

(1024秒÷0.5秒=2048個)のうち10個のデータがこの最大値を超えるのであるから超過確率は0.49%になる。Cermak 等の風洞実験結果でも P. F. の値が20近くになることもある⁵⁾。

3.3 変動風圧力のパワースペクトル

変動風圧力の分散値のパワースペクトルを計算したがその数列を **Figs. 8, 9** に示す。**Fig. 8**には NE 隅角部の測定点の風圧変動のスペクトルを示す。NE-1 点のスペクトルは顕著なピークはなく平坦な形であるが、他の点では 0.2Hz から 2Hz の間にいくつかのエネルギーピークをもつ。特に NE-2 点における 0.72 Hz のピークと NE-3 点における 0.4Hz のピークが鋭く NE-6, 7 点では平たいピークになっている。剥離

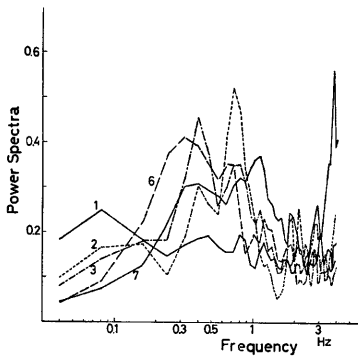


Fig. 8. Power spectra of the wind pressure fluctuations at NE-corner.

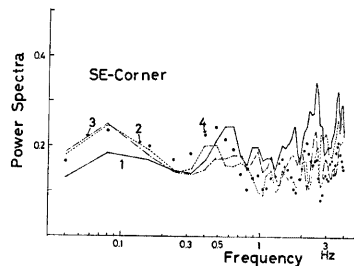


Fig. 9. Power spectra of the wind pressure fluctuations at SE-corner.

点のごく近傍では風圧変動にピークはないが風下側に少し離れた点でピークは鋭くなりさらに風下側ではそのエネルギーピークが広くなだらかになってくという傾向は筆者の行なった陸屋根の風洞実験でもみられた⁸⁾。0.4Hzのピーク周波数を風速 11m/s と 1 階の屋根からの高さの 2 倍である 4.7m と無次元化すると 0.167 になる。陸屋根の風洞実験では 0.174 となり近似した値である。Eaton 等の行なった実測によるスペクトルの結果でも同様の傾向を示すがピークの無次元周波数は少し異なる⁹⁾。森の行なった陸屋根の風洞実験結果によると、このピーク周波数及び風圧力の動的性質は建物高さと風洞風の乱流境界層のラフネスパラメーターの比によって変わる¹⁰⁾。このように渦の発生の有無やその周波数は自然風の性質によって変わるようであり今後の検討を要する。Fig. 9 は SE 隅角部における風圧変動のスペクトルであるが、NE 隅角部における風圧変動と較べて顕著なピークはなく、1 階の屋根で剥離した wake 内にあるため複雑な流れの場にあることを示している。

3.4 風圧変動の空間分布

ある広がりをもった面に加わる風力を評価するとき 2 点での風圧変動の相互相関係数は重要である。その計算結果によるとずらし時間が 0 である場合必ずしも最大とならないし、ずらし時間の 0 に関して対称でなかった。風圧変動は屋根の面を伝わっていくのでこのことは当然の結果である。NE 隅角部の 7 つの測定点の風圧変動の間で NE-1 点と他の点の相互相関係数の計算結果を Fig. 10 に示す。NE-1 点に近い NE-2,

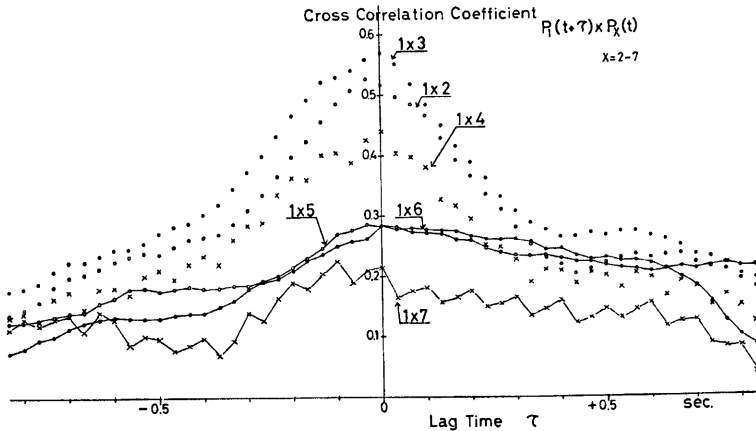


Fig. 10. Cross correlation coefficients between the wind pressuer fluctuations at NE-corner.

3, 4 点での相関係数が NE-5, 6, 7 点との相関係数より大きいことはその相互距離の差から考えて当然であるが、0.5 秒より長いずらし時間では顕著な差はない。2 点で測定された風圧力の相関関数の最大値と 2 点間の距離との関係を示したのが Fig. 11 である。風向方向に離れた 2 点と風向直角方向に離れた 2 点との場合に分けたが区別できるような特色はなかった。計算例は少ないがそれらを包括する最大値を結ぶ曲線を図示した。これによると相関係数は距離を 90cm にとると 0.7 となり 180cm にとると 0.5 になった。

次に隅角部での 2 つの測定点での風圧変動の相互相関の周波数成分を $\sqrt{\text{Coherence}}$ で示したのが Fig. 12 である。NE 隅角部で NE-1 点に対する NE-2, 3, 4 点の相関をみると 2Hz 以下の低周波数域ではどの点でも等しくて $\sqrt{\text{Coherence}}$ は 0.6 程度であり、それより高周波数側では急激に減少する。距離の遠い NE-

1点とNE-5, 6, 7点の相関は小さい。1点と6点の間は0.8Hzまではほぼ一定でそれから急激に減少する。1点と5, 7点の間は周波数と共に減少する。SE隅角部の4点では C_p , C_{rms} が似たような値をとることからほぼ様な風圧を受けることが予測できるが、そのことを示すように3Hz以下の低周波数領域ではかなり高い $\sqrt{\text{Coherence}}$ の値を示した。SW隅角部の1点と7点及び5点と6点の間の $\sqrt{\text{Coherence}}$ は周波数と共に減少する。

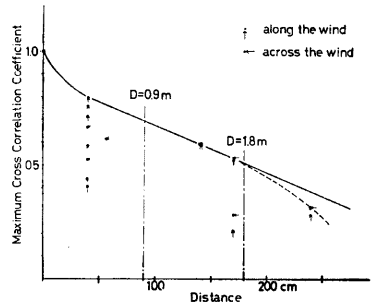


Fig. 11. The relation of cross correlation coefficients and distances between wind pressure measuring points.

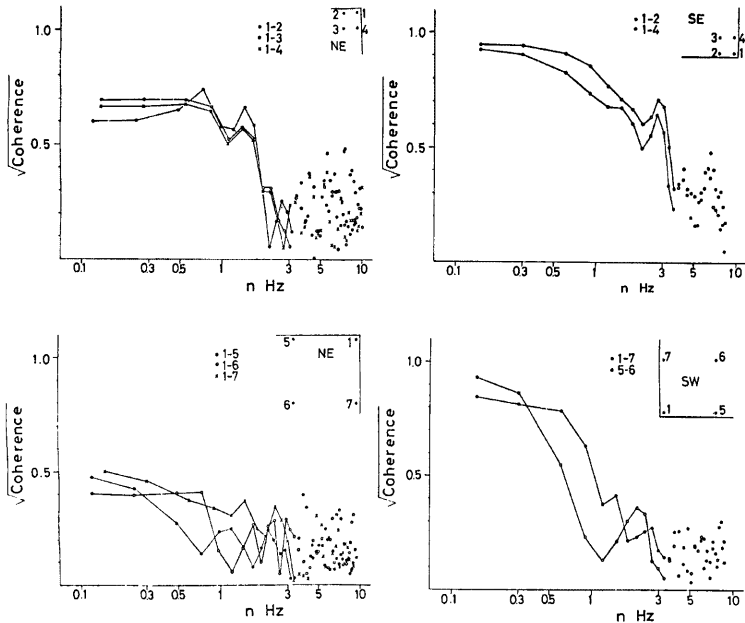


Fig. 12. Root coherences between the wind pressure fluctuations on the roof.

4. 風洞実験の概要

縮尺 $1/50$ の模型を使った風洞実験で2階屋根面に加わる平均風圧力の分布を求めた。実験は京都大学防災研究所の風洞で行なわれた。この風洞はゲッチンゲン型で風洞吹き出し口の断面は正八角形でその内接円の直径が1mである。風洞測定部に乱流を発生するために吹き出し口近くに木製格子を取り付けた。この格子の

部材の断面は $23\text{mm} \times 35\text{mm}$ であり格子の間隔は $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ の正方形である。格子で得られた測定部での平均風速や乱れ強さの分布を Fig. 13 に示す。吹き出し口付近, 測定中央部, 吸込み口付近では乱れ強さはかなり異なり, 格子でできた渦乱流が小さく壊れて乱れが小さくなっていくようである。模型を置いた測定部中央では平均風速が 10m/s , 乱れ強さが 7% であった。風圧力はダイアフラム型の圧力計 (ST 研究所製 PF-01型) で測定した。

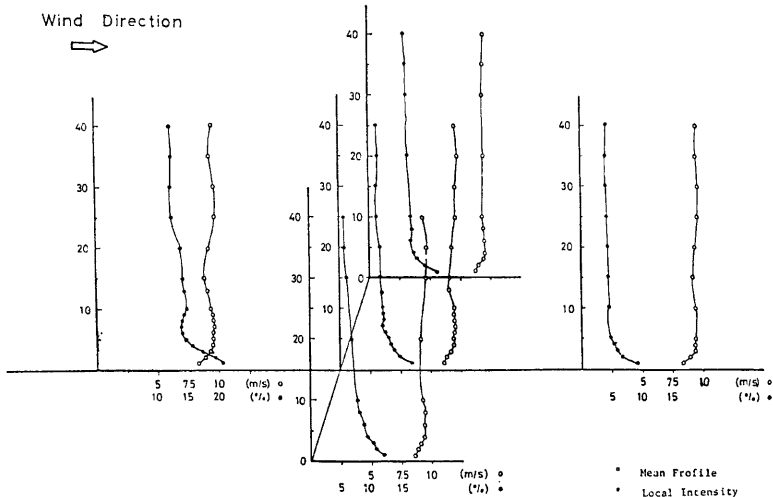


Fig. 13. Mean wind speed profiles and the distributions of local intensities of the grid-generated turbulent wind in the working section of the wind tunnel.

5. 風洞実験の結果

8 風向について測定した平均風圧係数の分布を Fig. 14(a), (b) に示す。風向がNのときは風上側底部付近で -1.0 程度の負圧が作用する。特に隅角部の A-8 点, H-8 点では -1.40 , -1.32 という大きな値を示した。また棟よりも少し風下側の付近でも -1.0 よりも大きな負圧が作用する。全体としてわずかに風向に対して非対称であるのは1階部分が2階部分に対して偏っていることによるとおもわれる。風向がNEのときは風上側底部及びけらば付近に強い負圧が作用する。剥離がこの風上側の2辺からおこるからであるが, 隅角部にある H-8 点では -0.24 と小さな負圧しか作用しない。棟よりすぐ風下側では強い負圧の作用する領域があり, またけらば付近で -1.0 程度の強い負圧が作用する。風向がEのときは風上側の2つの隅角部で -1.0 より強い負圧を示し, 風下に行くにしたがい次第に負圧は弱くなる。このときの等風圧線は切妻面にほぼ平行である。 -0.9 より大きな負圧が作用するのは桁行方向の長さの風上側 15% の範囲でありそれより風下側では負圧は減少する。風下側半分では負の圧力係数の絶対値は 0.2 より小さくなる。風向がSEのときはけらば付近の H-3, 4点で -0.97 , -1.53 となり庇に近い E-1 点で -0.72 となるが風向 NE のときと比較して負の風圧係数の絶対値は小さくなる。棟の風上端近くの H-4, 5点での風圧係数は -1.53 , -1.86 であった。風向がSのときは屋根に加わる負圧力は小さくて風圧係数の値はほとんど全面で絶対値で 0.4 よりも小さい。1階屋根が風上側に突き出していることによるものとおもわれる。風向がSWのときは風向 NE のときの対称にほぼ近い分布形をしていた。風向がWのときは風上側の A-7, 8 点では -0.80 より強い負圧

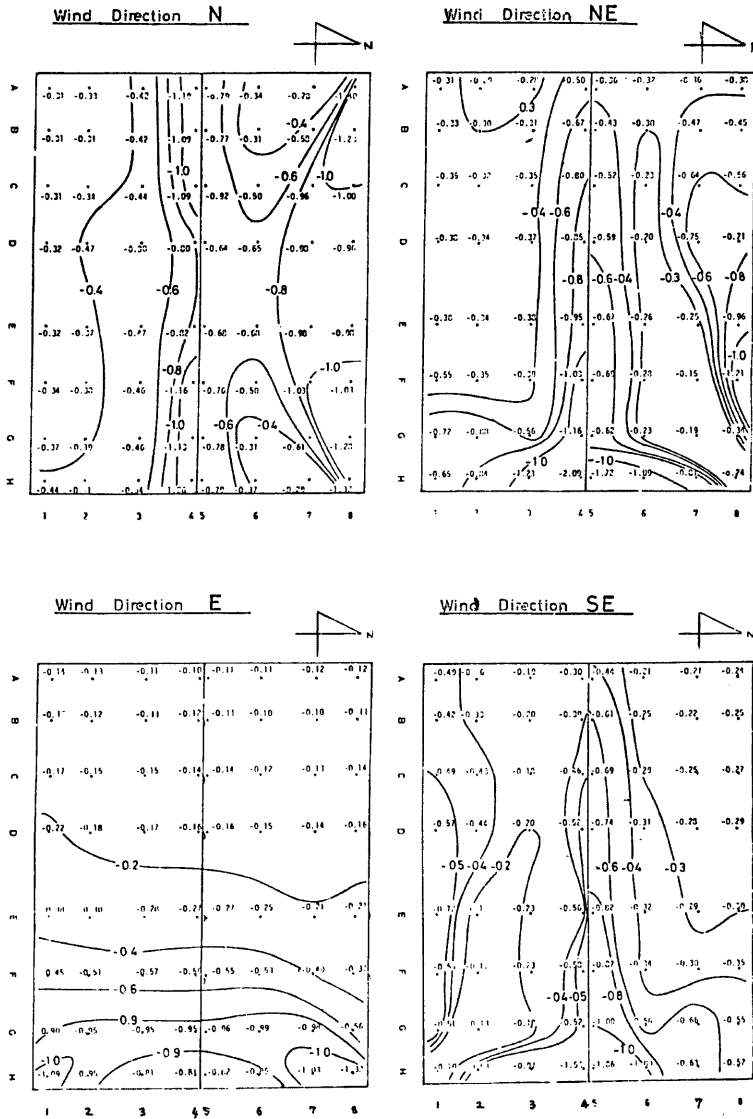


Fig. 14(a). Distributions of mean wind pressures on the model roof in the turbulent wind tunnel test. (wind direction, N, NE, E, SE)

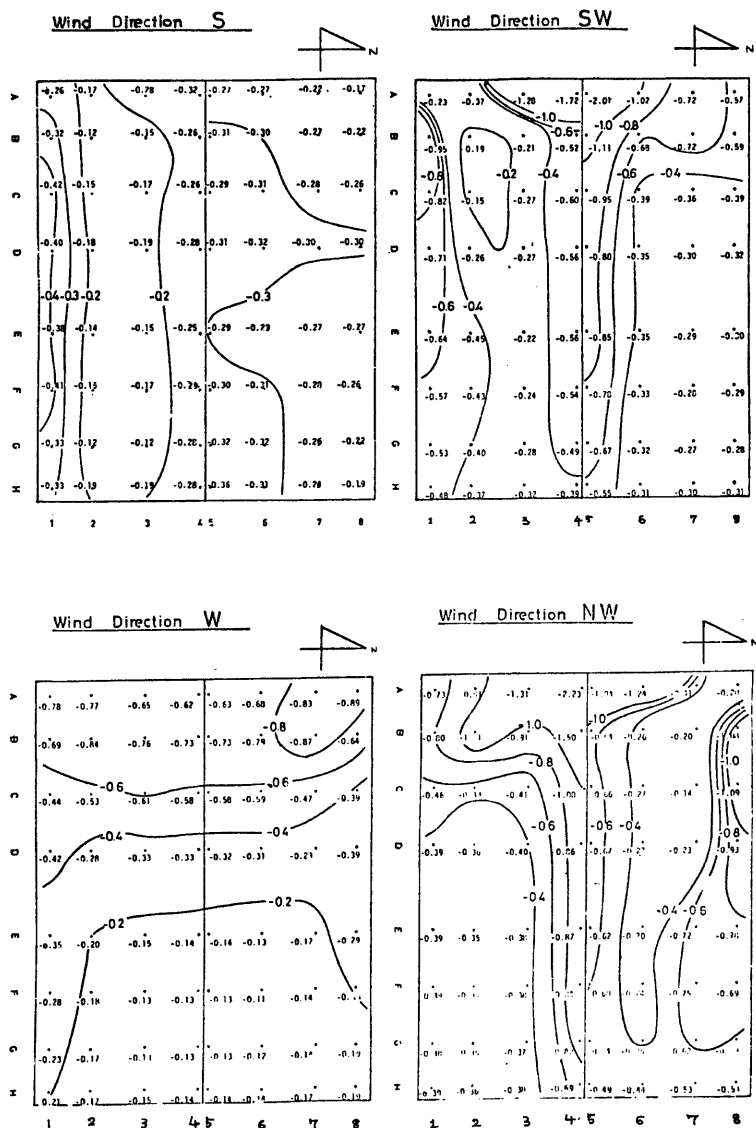


Fig. 14(b). Distribution of mean wind pressures on the model roof in the turbulent wind tunnel test. (wind direction, S, SW, W, NW)

を示した。風向が NW のときは風向 NE のときと対称的な形の分布をしていた。

模型での測定点と実測の測定点とは幾何学的に一致しないので近い測定点を比較した。NE-1 点の実測記録ではその風圧係数が -1.38 から -0.52 まで変わりその平均値は -0.86 であった。これに近い点である模型の H-8 点における実験による風圧係数は風向 N, NE, E に対して -1.22 , -0.24 , -1.32 である。この場合両者が対応するかどうかは風向を細かく分けて実験しないと判定できない。NE-7 点の実測記録では -1.23 から -0.74 まで変化して平均値は -0.95 であり、模型上の H-6 点では風向 NE, E, SE に対して -1.09 , -0.85 , -1.00 であり両者は近似した値を示している。SE-1 点では実測の平均値は -0.66 であり、模型における H-1 点では風向 E, SE, S に対して -1.09 , -0.10 , -0.20 であり両者が合っているとはいえない。SW 隅角部のどの測定点に対してもあまり一致しなかった。

層流中での実験も行なったがそのときの風圧係数の絶対値は一般に乱流中での値よりも大きい。その差を示すために同じ測定点同じ風向に対し 2 つの風洞実験の風圧係数を比較したのが Figs. 15, 16, 17 である。

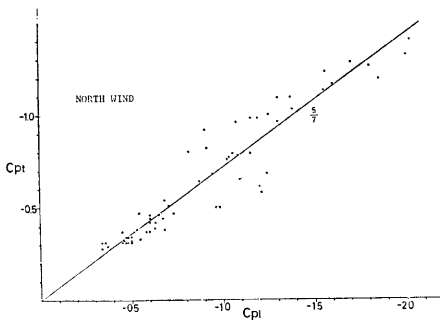


Fig. 15. The comparisons of the mean wind pressure coefficients between smooth and turbulent wind tunnel tests. (North wind)

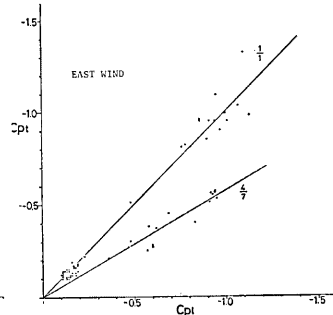


Fig. 16. The comparisons of the mean wind pressure coefficients between smooth and turbulent wind tunnel tests. (East wind)

図中の C_{pl} は層流中の値であり C_{pt} は乱流中の値である。風向が N の場合は C_{pt} の C_{pl} に対する比率は平均的には $5/7$ 程度になる。風向が E の場合はその比率が $4/7$ になるグループと $1/1$ になるグループに分けることができる。前述したようにこの場合 1 階の陸屋根の風上端で風は剝離しその乱れた流れが 2 階の屋根にあたると考えられる。剝離による乱れの存在は風洞風に含まれている乱れの影響を相対的に小さくするから C_{pl} と C_{pt} が同じ値を示す点があると考えられる。風向が S の場合は層流中では風上縁に大きな負圧の作用する領域があるが乱流中では顕著でなくなる。これは 1 階の建物による乱れの効果が風洞風の乱れと重なって風上端からの自由流線がすぐにくずれてしまうことによるものと思われる。このように乱れの屋根風圧への影響はかなり大きい。風洞中の乱流の乱れ強さは 7% であるが実物での風速の乱れは強さ 25% とかなり高かったから、その影響はより大きいと予想できる。

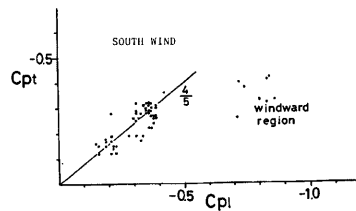


Fig. 17. The comparisons of the mean wind pressure coefficients between smooth and turbulent wind tunnel tests. (South wind)

6. 結 論

屋根構造の耐風性を検討する意味で屋根隅角部に加わる風圧力の実測を行ないその結果について述べた。屋根風圧に関しては風上端部で局所的な大きな負圧が作用し風下側にいくにしたがってその負圧は小さくなると従来からいわれているが、今回の実測でもその特色が確認できた。風上端部での平均風圧係数は -1.0 を超えて大きな負圧が作用するが、観測された1分間平均値の最大値は -1.38 であった。風下側にいくにしたがい負圧が減少していく割合は大きかったがこのことは自然風の乱れの効果によると考えられる。変動風圧係数も風上端では非常に大きくて 1.0 程度になることもあるが風下側では小さくなる。最大負圧に対するピークファクターは4から5という値が観測されたが、このことから負圧としての最大風圧は係数にして -5.0 あるいは -6.0 を考えねばならない。風上端部に作用する変動風圧は特定の周期をもつ成分をもつことがある。これは渦の発生によるものと考えられるが、 $50\text{cm} \times 50\text{cm}$ 程度の面積では $2 \sim 3\text{Hz}$ までの低周波数領域での風圧の空間相関性が高いからその一定の周波数の風圧変動による屋根材が振動を起し破損することも考えられる。

風洞実験から風圧分布の一般的な形がわかった。これは実測の結果とある程度対応するが実測結果に時間的变化があるため現時点で完全に符合するかどうかは判定できない。さらに層流中での結果と乱流中での結果がかなり異なることから乱れが風圧に大きな影響を与えることは確かである。今後は乱れの諸統計量の個々の影響を研究する必要がある。

謝 辞

この観測のため風圧測定孔金具の工作や測器の取付けなどの準備をして台風襲来時の徹夜観測に協力をしてくれた京都大学防災研究所技官の羽野淳介、尾崎寿秀、河内伸治の諸氏に深く謝意を表する。また風洞実験の実施にあたり助力してくれた同技官の杉政和光氏に感謝する。

参 考 文 献

- 1) Eaton, K. J. and J. B. Menzies : Roofs, Roofing and the Wind, Building Research Establishment Current Paper, August, 1974.
- 2) Jensen, M. and N. Franck : Model-scale Tests in Turbulent Wind-Part 2, the Danish Press, Copenhagen, 1965.
- 3) 石崎澄雄, 許 昌九 : 建物底部分の風圧に関する風洞実験, 京都大学防災研究所年報, 第4号, 1961, pp. 114—121.
- 4) 石崎澄雄, 許 昌九 : 家屋屋根面の風圧変動について, 京都大学防災研究所年報, 第6号, 1963, pp. 95—99.
- 5) Cermak, J. E., J. Peterka and K. J. Dreher : Wind Pressures on a House Roof, Proceedings of the second USA-Japan Research Seminar on Wind Effects on Structures, 1974, pp. 125—140.
- 6) Marshall, R. D. : A Study of Wind Pressures on a Single-Family Dwelling in Model and Full Scale, NBS Technical Note 852, 1974.
- 7) Eaton, K. J., J. R. Mayne and N. J. Cook : Wind Loads on Low-rise Buildings Effects of Roof Geometry, 4th International Conference of Wind Effects on Buildings and Structures, London, 1975, pp. 95—110.
- 8) Ishizaki, H. and Y. Yoshikawa : A Wind Tunnel Model Experiment of Wind Loading on Curved Roofs, Bulletin of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Vol. 21, Part 4, 1972, pp. 247—263.
- 9) Eaton, K. J. and J. R. Mayne : The Measurement of Wind Pressures on Two-storey House at Aylesbury, Journal of Industrial Aerodynamics, 1, 1975, pp. 67—109.
- 10) Mori, T. : On the Dynamic Wind Forces on a Flat Roof, 日本建築学会論文報告集, 第206号, 1973, pp. 9—14.