

大阪大林ビルに作用する風圧力の性状と変位応答について (その2)

川口 彰久 武田 寿一
本間 義教

Characteristics of Wind Pressure on OHBAYASHI Building in Osaka and Displacement Responses (Part 2)

Akihisa Kawaguchi Toshikazu Takeda
Yoshinori Honma

Abstract

The authors have measured wind pressures on the OHBAYASHI Building in Osaka in strong wind and the responses of the building since 1974. The results of measurements made in Typhoon No. 7416 were previously discussed. Subsequently, measurements were made in Typhoons No. 7506, 7916 and 7920. This paper describes the characteristics of turbulent winds at the top of the building ($H=125.6$ m), the characteristics of wind pressures on the building, and the displacement responses of the building. It should be noted that the maximum wind speed recorded up to this time was 20.8 m/sec.

概 要

大阪大林ビルでは、昭和49年から強風時に壁面に作用する風圧力および建物の振動を観測している。そして、台風7416号時の実測結果についてはすでに報告したが、その後台風7506号、7916号と7920号による強風時に観測する機会を得た。本報告は、今までに観測したすべてのデータにもとずいて、塔屋屋上（地上 125.6m）で測定した風の乱れ性状や壁面に作用する風圧力の性状および地下2階と地上29階の間で測定した変位応答、について記述している。なお、観測データ中の最大風速は 20.8m/s であった。

1. はじめに

超高層建築物に限らず、構造物の耐風設計は重要な問題である。従来、構造物に作用する風荷重についての研究は、縮尺模型による風洞実験によるところが大であった。現在においても、基本的問題の検討や設計段階における構造物の耐風性の検討などについては、風洞実験が重要な役割をはたしている。しかし、縮尺した風の流れの中での現象調査には、実験上の制約もあり、スケール効果など心配されるところである。したがって、実物での実測は直接実物で耐風性に関する資料を得ることができる点で、その必要性は高い。また、実測結果は風洞実験の妥当性を検討するうえからも大切なことと考えられる。このような目的のもとに、自然風中に建つ多くの高層あるいは超高層建築物を対象として、実測が行なわれている¹⁾。大阪大林ビルでの実験もその一つである²⁾。

本報告は、昭和49年以来継続して実施してきた。大阪大林ビルに作用する風圧力の性状および変位応答につい

て、記述するものである。

2. 建物概要と測定方法

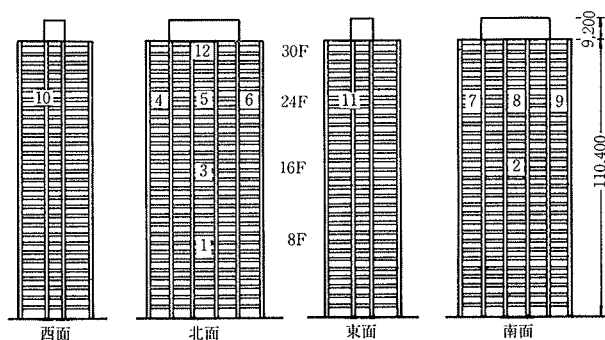
測定の対象建物は、大阪大林ビルである。周囲には、高さ 30 m 程度の建物はみうけられるが、これによる風の乱れが直接高層部分の圧力分布に影響を与えることはない。建物は、平面形状が矩形 (29.9×46 m)、軒高 106.2 m である。

基準となる風向と風速は塔屋屋上に設置したプロペラ型風向風速計 (地上高さ 125.6 m) により測定している。

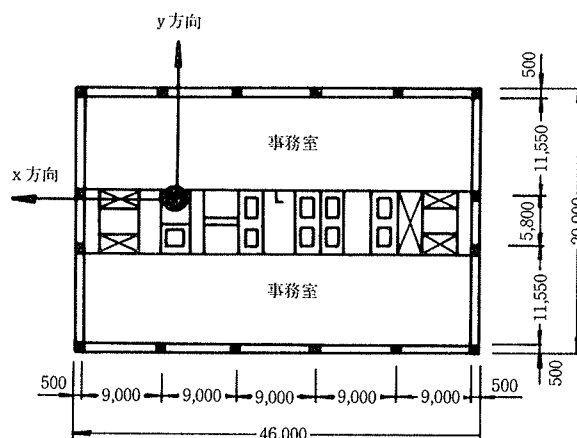
風圧力の測定は、ニューベリタイプ風圧計を図-1 に示す12ヶ所に取付け、外壁に作用する圧力と室内圧との差圧を検出し、動歪計を通してカセットデータレコーダに同時記録している。

応答変位の測定は、レーザー変位計を用いて、地下2階と地上29階の相対変位を、図-2 に示すように、長辺方向をX、短辺方向をY軸として測定している。

解析にあたっての記録データのサンプリングタイムは、



図一1 風圧計設置位置



図二 変位計設置位置

風速はすべて0.5秒，風圧力と変位は記録No. 0～2が0.12秒，記録3～26が0.1秒である。

3. 記録

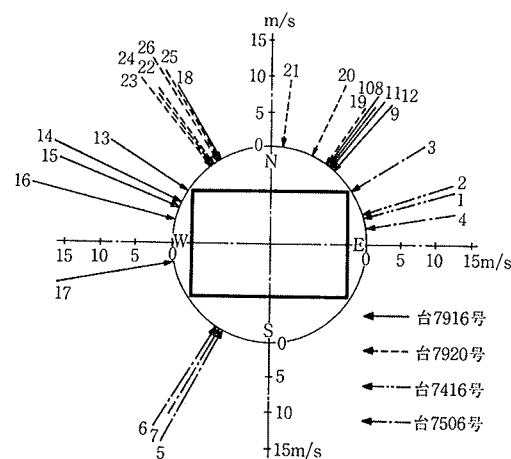
今までに記録したデータは，10分間を一つのデータ単位とすると26ケースあり，塔屋屋上の基準風速を示すと，表一1となる。また，風速をベクトル表示すると，図一3となる。なお，当地での最大風速の記録は，台風7916号時の記録No16の20.8m/s（風向：西北西）であり，最大瞬間風速は33.3m/sであった。

4. 解析

4.1. 風速

風の乱れ特性を表わす乱れの強さ ($I = \sqrt{\bar{u}^2} / \bar{U} \times 100$)，ピークファクター ($g = (\hat{U} - \bar{U}) / \sqrt{\bar{u}^2}$) およびガストファクター ($G = \hat{U} / \bar{U}$) を図示すると，図一4となる。なお， \bar{U} は平均風速， \hat{U} は最大瞬間風速， $\sqrt{\bar{u}^2}$ は変動風速の標準偏差である。そして，これらはそれぞれ $I = 7.6 \sim 22.1\%$ ， $g = 1.86 \sim 3.71$ ， $G = 1.16 \sim 1.65$ の範囲にあり，単純平均を求めると $I = 15.3\%$ ， $g = 2.55$ ， $G = 1.38$ となる。Davenport³⁾が提案する乱れの強さの鉛直分布式 $\sqrt{\bar{u}^2} / \bar{U}_z = \sqrt{6\kappa} \bar{U}_z (10/z)^\alpha$ に都市域であることから指数 $\alpha = 1/4$ を仮定して実測結果から地表面摩擦係数 κ を求めると， $\kappa = 0.0034 \sim 0.029$ となる。この値は，都市域の値として推奨されている $\kappa = 0.03 \sim 0.05$ と比べると低目の値である。

ガストファクターと評価時間の関係を示すと，図一5となる。評価時間0.5秒のガストファクターは，前述したように $G = 1.16 \sim 1.65$ の範囲に散らばっているが，評価時間を長くするとガストファクターは徐々に減少する傾向にある。このような



図一3 平均風速のベクトル表示

関係は，石崎・光田⁴⁾によって， $G_s = (S_t/D)^{-1.25} r_g = r_0 (Z/Z_0)^{-0.42}$ ，（草原において $r_0 = 0.1$ ）として提案されている。ここで， G_s は地上高さ Z_m 位置での評価時間 S_t 秒，平均時間 D 秒のガストファクター， Z_0 は基準高さ（=10m）である。そこで，この関係を準用して実測値から r_0 を求めると，10秒より長い評価時間に対しては $r_0 = 0.09 \sim 0.3$ となり，平均値 $r_0 = 0.2$ となる。

記録番号	測定年月日	時刻	平均風向	平均風速 (m/s)	標準偏差 (m/s)	ガストファクター	ピークファクター	記録番号	測定年月日	時刻	平均風向	平均風速 (m/s)	標準偏差 (m/s)	ガストファクター	ピークファクター
1 (7416-1)	49.8.31	16:15 ~ 16:25	東	14.2	2.1	1.44	2.91	14 (7916-7)	54.9.30	23:20 ~ 23:30	西北西	19.9	3.2	1.33	2.08
2 (7416-2)	"	16:25 ~ 16:35	東	14.2	2.1	1.38	2.53	15 (7916-8)	"	23:30 ~ 23:40	西北西	18.1	3.6	1.48	2.40
3 (7506-1)	50.8.22	22:20 ~ 22:30	東北東	11.4	1.0	1.20	2.31	16 (7916-9)	"	23:40 ~ 23:50	西北西	20.8	4.2	1.60	2.95
4 (7506-2)	50.8.23	4:20 ~ 4:30	東	12.9	2.2	1.31	3.71	17 (7916-10)	"	23:55 ~ 0:05	西	16.9	3.2	1.53	2.80
5 (7506-3)	"	6:50 ~ 7:00	南西	17.8	3.7	1.51	2.47	18 (7916-11)	54.10.1	0:20 ~ 0:30	北北西	12.5	2.4	1.36	1.86
6 (7506-4)	"	7:15 ~ 7:25	南西	16.8	2.9	1.49	2.89	19 (7920-1)	54.10.19	9:00 ~ 9:10	北西	10.5	0.8	1.16	2.20
7 (7506-5)	"	8:15 ~ 8:25	南西	13.7	2.7	1.46	2.37	20 (7920-2)	"	9:30 ~ 9:40	北西	11.2	1.1	1.19	1.95
8 (7916-1)	54.9.30	20:00 ~ 20:10	北東	11.3	1.2	1.32	2.90	21 (7920-3)	"	10:00 ~ 10:10	北北東	10.2	0.9	1.18	2.08
9 (7916-2)	"	20:30 ~ 20:40	北東	12.7	1.4	1.30	2.72	22 (7920-4)	"	10:25 ~ 10:35	北北西	13.4	2.3	1.41	2.43
10 (7916-3)	"	21:45 ~ 21:55	北東	12.2	1.4	1.31	2.76	23 (7920-5)	"	10:45 ~ 10:55	北北西	16.2	1.9	1.31	2.65
11 (7916-4)	"	22:00 ~ 22:10	北東	13.5	1.3	1.25	2.65	24 (7920-6)	"	11:00 ~ 11:10	北北西	12.6	2.2	1.42	2.41
12 (7916-5)	"	22:30 ~ 22:40	北東	12.3	2.4	1.41	2.12	25 (7920-7)	"	11:20 ~ 11:30	北北西	15.5	2.8	1.42	2.35
13 (7916-6)	"	23:10 ~ 23:20	北西	13.1	2.9	1.53	2.45	26 (7920-8)	"	11:40 ~ 11:50	北北西	17.0	3.3	1.65	3.38

表一1 記録一覧

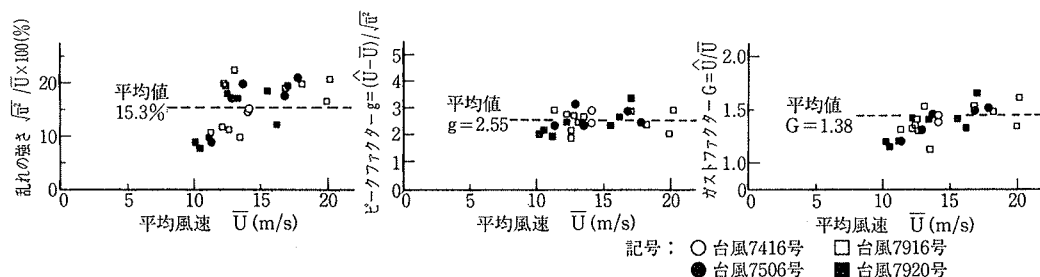


図-4 風の乱れ性状

4.2. 風圧係数

建築物の壁面に作用する風圧力は、建築物内部の静圧 P_0 (室内圧) と外壁面に作用する圧力 P との圧力差である。そこで、風圧係数 (C_p) は、各測定点の風圧力を、塔屋屋上で測定する風速を基準風速として求まる速度圧 q ($=1/2\rho\bar{U}^2$) で除して算出した。即ち

$$c_p = (p - p_0) / q$$

である。なお、風圧係数を求めた平均時間は10分である。

風圧係数の分布を、図-6 に例示する。これらは、風向がX軸に対して $11\sim 14^\circ$ 偏った時の風圧係数分布である。この分布で特徴的な事は、風向角が偏った側の風上隅角部において $C_{p\bar{}} = -0.63\sim -0.66$ の値を示すが、その後方においてはすぐに圧力 (絶対圧) の低下がみられることである。即ち、風の流れが風上隅角部で剝離するが、その後方で再付着する傾向をあらわしている点である。また、風向が偏った側の変動風圧係数が、風上隅角部付近で $C_{p\text{rms}} = 0.35\sim 0.44$ と大きく、風下側へ行く程

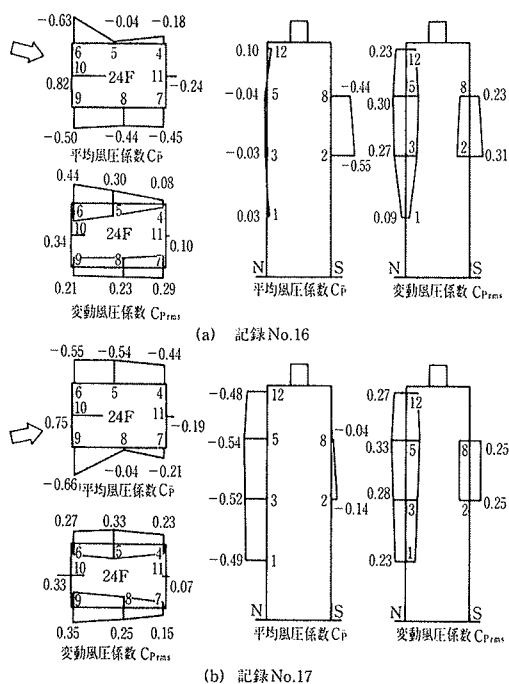


図-6 風圧係数分布

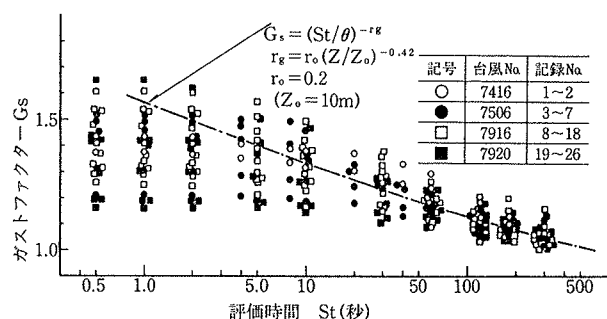


図-5 ガストファクターと評価時間の関係

小さくなる傾向も、特徴的な事である。

風圧係数と風向角の関係を明確にするために、東西、南北の各面の測定点をそれぞれの風向角で対応させると図-7 となる。風向角が $180\sim 360^\circ$ の範囲、即ち、風に対して背面側となる場合においては、平均風圧係数、変動風圧係数ともに壁面の中央部あるいは端部であることによる差は少なく、ほぼ同等の値となる。風向角が $0\sim 180^\circ$ の範囲、即ち、風に対して正面となる場合に位置による効果があらわれ、平均風圧係数が正圧となる風向角は中央部が $10\sim 17^\circ$ 、隅角部は $30\sim 14^\circ$ である。平均風圧

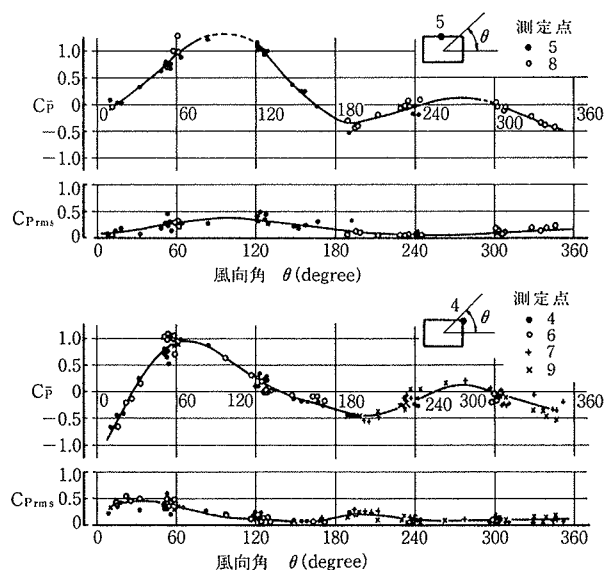


図-7 風圧係数と風向角の関係

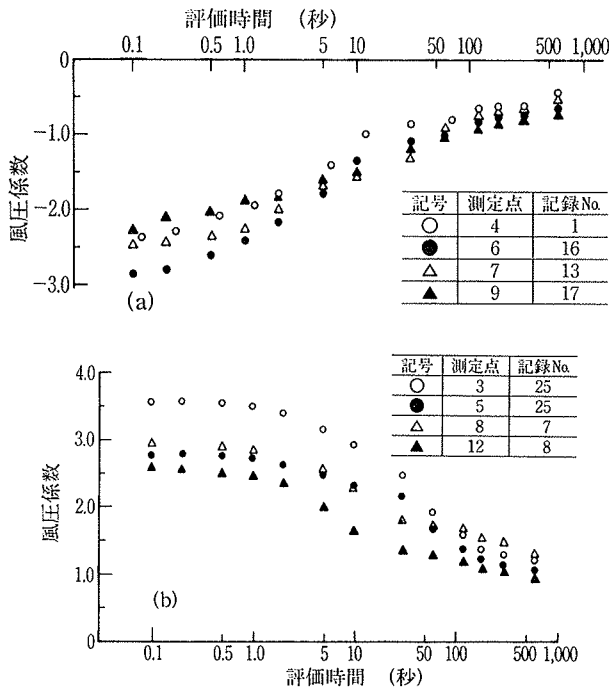


図-8 風圧係数と評価時間の関係

係数 C_p のピークは中央部が 90° 前後であり、隅角部では 60° 前後である。

次に、隅角部の負圧の大きさについて調べてみる。測定点 4, 6, 7, 8 のそれぞれの点で、負圧が最大を示す時の風圧係数と評価時間の関係をひろい出すと、図-8(a)となる。10分間の平均風圧係数は $C_p = -0.4 \sim -0.7$ であって、それほど大きな負圧を示していないが、評価時間を短くすると風圧係数の絶対値は急激に大きくなり、評価時間 1.0秒では $C_p = -1.9 \sim -2.4$ 、0.1秒では $C_p = -2.2 \sim -2.8$ となっている。また、評価時間 1.0秒の風圧係数の10分間平均風圧係数に対する倍率は 2.7~4.8となる。

平均風圧係数がほぼ 1.0 (正圧) を示す場合の風圧係数と評価時間の関係を、壁面の中心付近の測定点 (測定点 3, 5, 8, 12) から選ぶと、図-8(b)となる。10分間の平均風圧係数は $C_p = 0.9 \sim 1.25$ の範囲にあるが、評価時間を短くすると隅角部の負圧の場合と同様に急激に大きくなり、評価時間 1秒程度では $C_p = 2.4 \sim 3.5$ となる。1秒より短い評価時間に対しては、ほぼ一定である。また、評価時間 1秒の風圧係数の10分間平均風圧係数に対する倍率は 2.2~2.8であった。

以上の結果から、隅角部の負圧の大きさと中央部の正圧の大きさを比較すると、10分間の平均風圧係数あるいは短い評価時間に対する風圧係数の絶対値は正圧側のほうが大きい、その短い評価時間の風圧係数の10分間平均風圧係数に対する倍率は、隅角部の負圧のほうが大きいことがわかる。

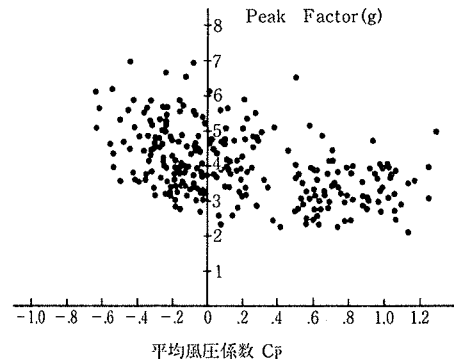


図-9 平均風圧係数とピークファクターの関係

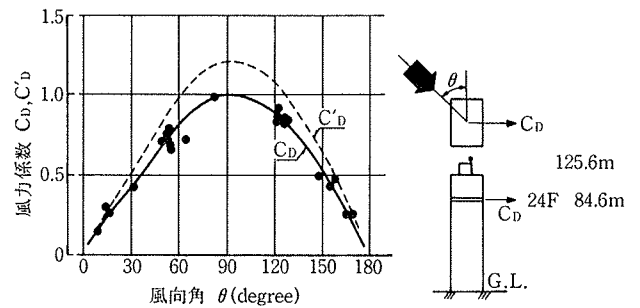


図-10 Y軸方向の風力係数

平均風圧係数が正圧であるかあるいは負圧であるかによる風圧力の性状の違いは、ピークファクターにもあらわれている。図-9は、10分間の平均風圧係数と評価時間を 0.1秒あるいは0.12秒としたときの風圧力のピークファクターの関係を示している。これによれば、正圧あるいは負圧いずれも散らばりは大きい、負圧のほうが正圧の場合よりもピークファクターが大きくなる傾向が読みとれる。

建築物の壁面に作用する風圧力の変動が風速の変動と線形関係にあるとすれば、平均風圧が正圧となる場所あるいは負圧になる場所による風圧力の変動特性に違いが生ずるものではない。しかし、実測した結果によれば、風圧力の変動特性は異なっており、負圧域では風速変動以外の他の要因が大きく影響を与えていると推定される。

4.3. 風力係数

北面と南面の風圧係数を積分して、Y軸方向の風力係数 C_D を求めると、図-10となる。風向角 90° を軸としてほぼ左右対称である。この風力係数は基準風を塔屋屋上に設定した場合のものであり、通常風力算定時に行なう同一レベルの風に対する風力係数と比較する場合には、補正が必要となる。仮に、平均風速の鉛直分布が指数則 $\bar{U}_z = \bar{U}_0 (z/z_0)^\alpha$ に従い都市域であることから指数 $\alpha = 1/4$ によって近似できるとすれば、24階レベルの風に対する風力係数 C_D' は、上記風力係数を 1.22倍することに

記録 番号	振動方向 X					振動方向 Y				
	平均変位 (mm)	標準偏差 (mm)	最大変位 (mm)	ガスト ファクター	ピーク ファクター	平均変位 (mm)	標準偏差 (mm)	最大変位 (mm)	ガスト ファクター	ピーク ファクター
1	7.2	1.4	12.0	1.67	3.33	-1.6	2.2	-9.8	6.13	3.73
2	6.7	1.2	10.5	1.56	3.13	-1.5	2.5	-8.2	5.47	2.72
3	6.4	0.7	8.6	1.35	3.25	-4.9	7.7	-9.0	1.84	5.28
4	4.9	1.1	7.9	1.60	2.76	-6.7	1.4	-10.5	1.56	2.77
5	-7.4	3.2	-15.5	2.09	2.50	15.1	6.0	33.5	2.22	3.10
6	-7.3	1.8	-13.0	1.80	3.19	13.7	4.4	28.4	2.08	3.38
7	-5.2	1.5	-10.6	2.03	3.69	9.4	3.1	21.8	2.31	3.95
8	4.6	1.3	9.1	1.97	3.42	-5.3	2.1	-13.0	2.44	3.66
9	6.7	1.8	14.6	2.18	4.50	-7.4	2.6	-16.1	2.19	3.41
10	5.6	1.6	11.2	1.99	3.53	-7.0	2.6	-16.1	2.30	3.46
11	3.2	4.9	11.0	3.44	1.24	-9.6	2.7	-19.9	2.08	3.80
12	5.2	1.8	11.5	2.22	3.54	-7.6	4.1	-23.3	3.07	3.88
13	-3.8	3.6	-21.2	5.53	4.89	-7.8	5.0	-30.0	3.87	4.47
14	-16.0	5.5	-33.8	2.11	3.22	-18.7	9.8	-55.4	2.97	3.74
15	-13.1	5.2	-32.6	2.50	3.77	-16.8	9.6	-51.8	3.09	3.66
16	-17.0	7.4	-45.0	2.65	3.80	-13.6	12.2	-63.1	4.63	4.06
17	-7.3	3.8	-21.3	2.93	3.70	3.5	6.2	27.6	7.80	3.85
18	-1.3	2.8	-10.7	8.19	3.38	-12.0	4.0	-24.7	2.07	3.21
19						-5.1	0.7	-7.1	1.40	2.92
20						-3.4	1.2	-6.4	1.88	3.16
21						-2.4	1.0	-5.5	2.34	3.13
22						-3.4	2.9	-10.4	3.08	2.39
23						-9.9	3.0	-22.6	2.27	4.17
24						-5.5	2.3	-14.0	2.56	3.64
25						-9.0	4.3	-26.1	2.90	3.98
26						-12.3	5.2	-40.0	3.25	5.29

表-2 変位応答記録

なる。したがって、例えば風向角 $\theta=84^\circ$ のとき $C_D=0.98$ であるから、同一レベルの風に対しては $C_D'=1.2$ となる。

4.4. 変位

29階で測定している変位応答の平均値、標準偏差、最大瞬間値を示すと、表-2 となる。欠測した台風7920号時のX方向の変形を除くこれまでの記録のなかでの最大値は、平均風速20.8m/s、風向X軸からN側に14°偏った記録 No. 16 の時に、X方向では $\bar{X}=17.0$ mm, $X_{rms}=7.4$ mm, $\hat{X}=45.0$ mm であり、Y方向では $Y_{rms}=12.2$ mm, $\hat{Y}=63.1$ mm であった。 \bar{Y} の最大値だけは記録 No. 15の時であり、 $Y=16.8$ mm であった。

変位のパワースペクトルを示すと、図-11となる。X、Y方向いずれも、パワースペクトルが卓越するのは、風の乱れが卓越する比較的低い周波数領域(0.1 Hz以下)と、1次固有振動数近傍であった。1次固有振動数は、X方向0.35 Hz、Y方向0.29 Hzである。

5. まとめ

以上、観測結果について述べてきたが、要約すると以下の通りである。

- (1) 塔屋屋上の風速記録によれば、平均的な風の乱れ性状は、乱れの強さ15.3%、ピークファクター2.55、ガストファクター1.38であった。また、地表面摩擦係数は、 $\kappa=0.0034\sim0.029$ であった。
- (2) 風速のガストファクターを評価時間との関係で示すと、10秒より長い評価時間に対しては、 $G_s=(S_t/D)^{-r_g}$ $r_g=r_0(Z/Z_0)$ 0.42, $r_0=0.2$ により大旨近似された。
- (3) 風圧係数を風向角との関係で示した。

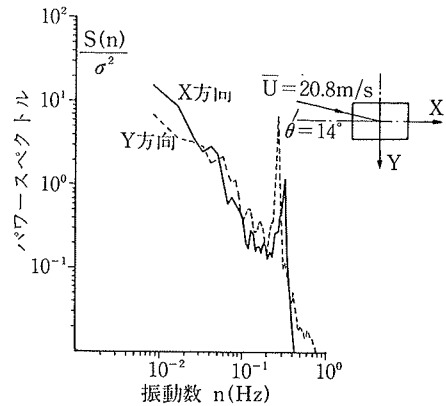


図-11 変位応答のパワースペクトル

(4) Y軸方向の風圧係数を求めると、Y軸にほぼ平行な風向に対して $C_D=1.0$ であり、また同一レベルの風に対する補正を行なうと $C_D'=1.20$ となった。この値は通常矩形断面の建造物の耐風設計に用いられる値に等しい。

(5) 風圧力の変動特性を、平均風圧係数が正圧域の場合と負圧域(隅角部)の場合にわけて検討した。その結果、風圧力の絶対値の最大値は正圧域のほうが負圧域よりも大きかったが、変動は負圧域のほうが大きかった。

(6) 建物の応答の最大値は、風速20.8 m/sの時、X方向 $\hat{X}=45.0$ mm、Y方向 $\hat{Y}=63.1$ mm であった。またスペクトル解析の結果、1次固有振動数はX方向0.35 Hz、Y方向0.29 Hzであった。

謝 辞

この調査研究は、当技術研究所の研究活動の一部として実施しているが、実測にあたっては本店建築設計第三部に御協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本鋼構造協会: 建物風力測定報告, JSSC, vol. 14, No. 155, (1978)
- 2) 川口, 武田, 竹本, 伊藤, 本間: 大阪大林ビルに作用する風圧力の性状と変位応答について(その1), 大林組技術研究所報, No. 12, (1976), pp. 23~27
- 3) Davenport A. G.: The Spectrum of Horizontal Gustiness near the Ground in High Wind, Quart. J. Royal Met. Soc., Vol. 87, (Apr. 1961), pp. 194~211
- 4) 石崎, 光田: 強風時における突風の拡がり突風率について, 京都大学防災研究所年報, 第5号A, (1962), pp. 135~138