

暴風時における風の乱れの研究 (1)

石 崎 潑 雄 ・ 光 田 寧

STUDIES ON TURBULENT STRUCTURE OF STORM GUSTS

By *Hatsuo ISHIZAKI and Yasushi MITSUTA*

Synopsis

Turbulent structure of storm gusts in the typhoon was studied using several high response anemometers set on the masts which are on the line perpendicular to the wind direction. The result shows that correlations of wind pressure fluctuations decrease rapidly with distance.

1. は し が き

本研究は暴風時における風の乱れの特性、特に構造物に作用する風力を推算するのに必要な風の変動に関する特性を知ることを目的としたものである。近年、構造物の大型化が目覚しく、超高層ビル、高煙突あるいは長大吊橋といったものが多く計画され建設されるようになり、構造物に作用する風力が大きな問題として取り上げられるようになってきたが、従来の気象学上の知識のみでは不十分な点が多く、特に構造物への作用を考えるためには構造物の占める空間的な拡がりの中での特性を知る必要があるという点で特別な研究が必要である。このような立場からこの研究に於ては、まず、暴風時に構造物と同程度の空間的な拡がりを持つ範囲内の風の変動、しかも構造物の自由振動周期に近い短い周期の変動の同時変化がどのようなものであるかということを観測によって調べた。

もっとも構造物に作用する風に起因した力を調べるためにはこのような空間的な風の変動に関する知識のみでは不充分であって、現実に構造物が存在すればそのために風の流れは変形を受けるし、また構造物自身が振動を始めればそれが風の流れの場に Feed Back されて変動の様相をさらに複雑にする。そして、そのような状態の風の性質が明らかになって始めて風力の推算が可能となる。しかし、このような構造物という実体が風の中に入った場合の問題は個々の条件によって非常に差が大きく一律に論じることが困難であるから、本研究はまず自然の風の環境に関する知識のみを明確にし、個々の構造物についての風力に関する問題を考えるための基礎的な資料を得ることを目的とするものである。

風力を考える上においては風速を知って風圧力を算定するという方策を取るよりは直接初めから速度圧を測定するという方法を取る方が有利である¹⁾。また、構造物の風による振動を考えるためには従来気象観測で測定されてきたものよりはずっと短い周期の風の変動について知る必要がある。これらの点からこの研究のために特別な 1/10 cps 程度の変動まで測定出来る風圧計を開発する必要があった²⁾。研究は、まず神戸市の垂水付近の海岸に1直線上に数本の観測用の柱を建てその上に合計6台の風圧計を設置して、数年間にわたって台風の接近時の暴風の吹く機会毎に観測を行うことによって開始した。本論文はその観測結果の解析に関する第1報で、暴風時の風の変動の概要をつかむことを目的とした予備的な調査が主である。

2. 観 測 の 方 法

観測を行なった場所は神戸市垂水区東垂水の海岸にある広場で、汀線より数十メートルしか離れておら

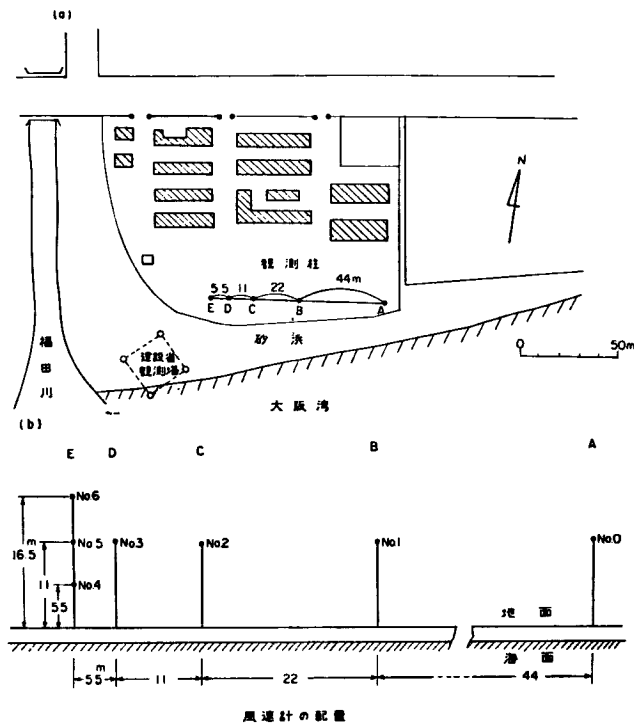


Fig. 1 Site of observation and observing net work.

ず、地面の海拔高も 2 m 程度である。広場の北側には 2 階建の建物が並んでいる。観測場所の概要は Fig. 1 に示すとおりである。観測用の柱は全部で 5 本あり、空間的な構造を詳しく知ることを目的とするために Fig. 1 に示したように等比級数的な間隔に並べてある。観測柱の高さは 11 m を標準とし、西端のものだけは 16.5 m で、3 高度に風圧計を設置し、他は頂部 11 m に設置した。その配置は Fig. 1 の下に示したとおりである。測定点は図に示されたように全部で 7 点であるが、測点 No. 0 だけは設置が遅れたために今回の解析に用いた観測には間に合わなかった。

風圧計は先きにも述べたとおり特にこの研究のために開発したものであり、矢羽根で回転し常に風向方向に向うようにしたピトー管で検出した速度圧をベローと差動変圧器の組合せによって電気信号に変換する方式によるものである。これによれば周期 1/10 sec 程度までの短い周期の風圧変動を歪みなく検出することが出来る²⁾。またこの風圧計では矢羽根の回転をポテンショメーターで電気信号に変換出来るようにしてあるので風向の変動も同時に測定することが出来るようになっている。

各風圧計からの信号は全部 1 つにまとめられ近くの建物の中に導かれてそこでオシログラフによって記録するようにした。測定は台風が接近し風が強くなると考えられた時に観測者が出張して測定器を操作するという方法によって行った。

3. 暴風の測定結果

観測は昭和38年夏より開始し40年まで続行したが、この間昭和39年9月25日未明に台風6420号がこの場所の西方数十キロメートルのところを通過し、この場所では南からの強い風が数時間にわたって吹いた。観測点の南西方数十メートルのところにある建設省の観測塔の高さ 12.5 m (実際の高さは本研究の風圧計の高

さ（11 m）とほぼ同じ）に設置された通常の風速計で測定した最大風速（10分間平均）は 27.3 m/sec（5 h 40 m）であった。この最強風時の風向は南で観測点の列にはほぼ直角になっていた。この間、5～10分づつオッシログラフによって風圧の変動の記録を取った。この際得られた風圧変動の記録の1例を Fig. 2 に示す。上から測点 No. 1, 2, 3 および 5 で得られたもので風圧は上方に向かって増加し、時間は左から右に進み太線の間隔が 1 sec に相当する。

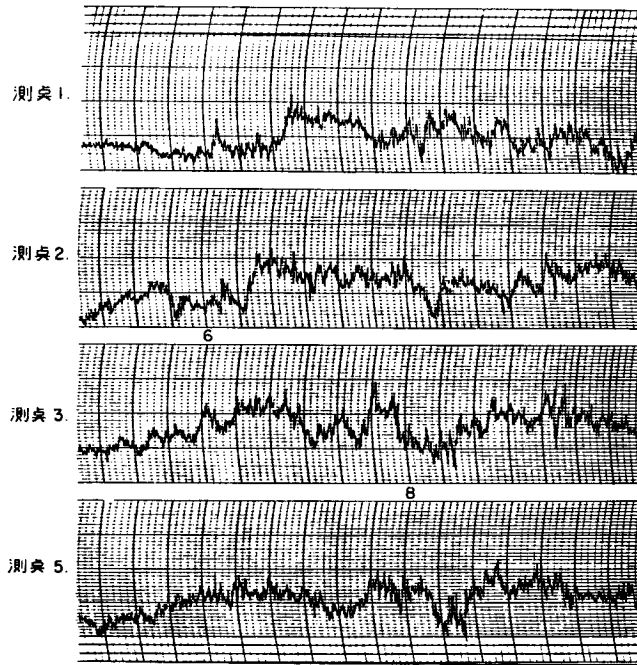


Fig. 2 An example of traces of anemometers.

4. 1点の変動風圧と空間平均風圧

先きにも述べたとおり、構造物に影響する風を考えるためにはある構造物の占めるであろう空間での平均的な風圧の変動に関する知識が必要である。Fig. 2 から明らかなように最も近い測点 No. 3 と 5 の間（5.5 m）でもその変動の様子はかなり異っており、最も離れた点の間（No. 1 と No. 5）ではほとんど相関がないようにさえ見える。この際の観測から 1/10 sec 毎に読み取った風圧の変動を比較のために示したものが Fig. 3 である。さらにこれから空間平均を求めるためにいくつかの測点での風圧の平均値を作って見たが、その値を Fig. 4 に示す。この図の最上段は測点 No. 3 と 5 の平均値すなわち 5.5 m の間の平均に相当するような風圧の値を示す。中央は測点 No. 2, 3 と 5 の平均風圧で、巾 16.5 m の間の平均、最下段は全測点の平均すなわち 38.5 m の間の平均値である。この図からも明らかなように平均間隔が長くなるとともに変動は平滑化されて時間的な変動の中は小さくなっている。なお平均値の上にある短周期の変動はこの値が完全な空間平均ではなくて少数の点の平均であるために各点の変動が平滑化されずに残っているためであると思われる。

この空間平均による変動の平滑化を示すために、各々の空間平均風圧変動の標準偏差と 1 点で測定した風圧変動の標準偏差との比を求めて示したものが Table 1 である。38.5 m の平均を取ると変動の標準偏差は

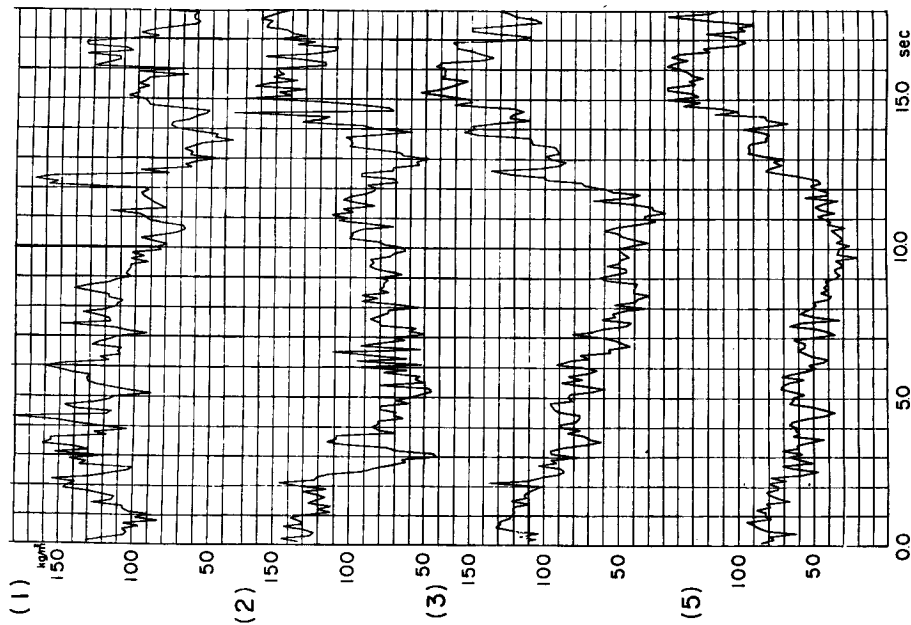


Fig. 3. Time changes of velocity pressures at four observing points (No. 1, 2, 3, and 5) at 11 m. (Run 4).

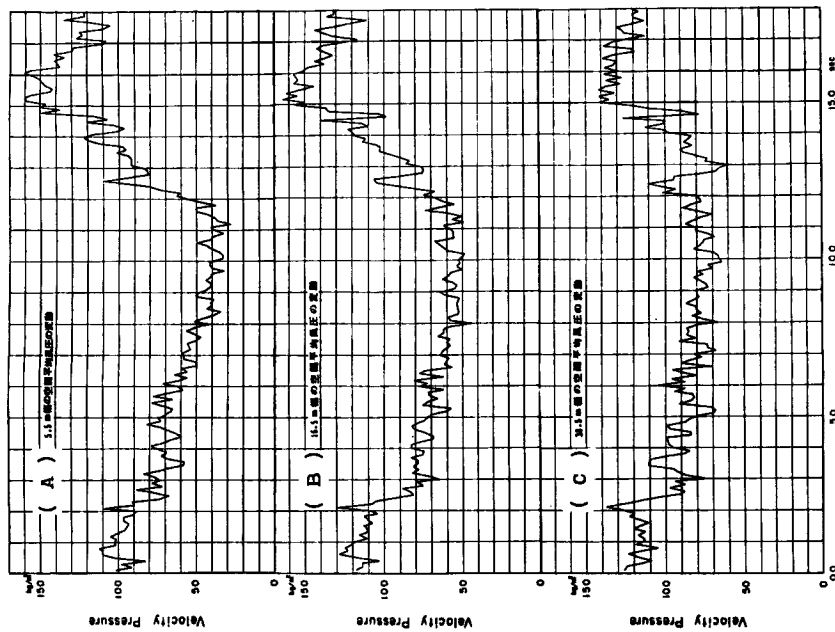


Fig. 4. Time changes of spatially averaged velocity pressures (A; No. 3 and 5 (5.5 m), B; No. 2, 3 and 5 (16.5 m), C; No. 1, 2, 3 and 5 (38.5 m)). (Run 4 the same time interval as Fig. 3)

Table 1 Standard deviations of spacially averaged wind pressure
 (II : No. 3 and 5, III : No. 2, 3 and 5, IV : No. 1, 2, 3 and 5).

Run	I (1 pt)	II (5.5 m)	III (16.5 m)	IV (38.5 m)
4	1.00	0.92	0.84	0.71
5-a	1.00	0.93	0.87	0.72
5-b	1.00	0.91	0.81	0.69

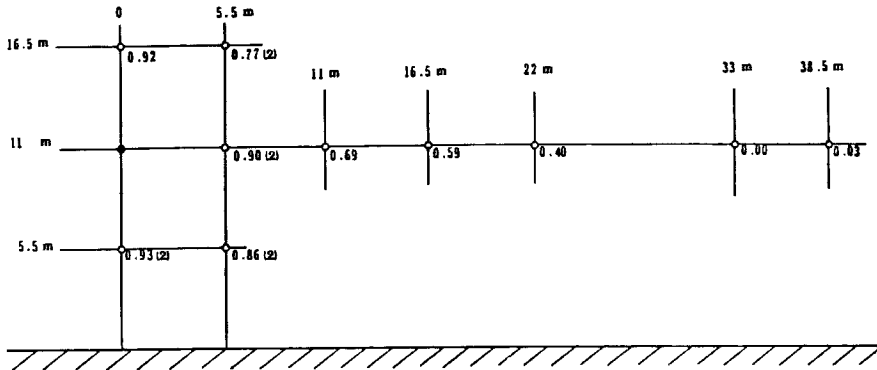
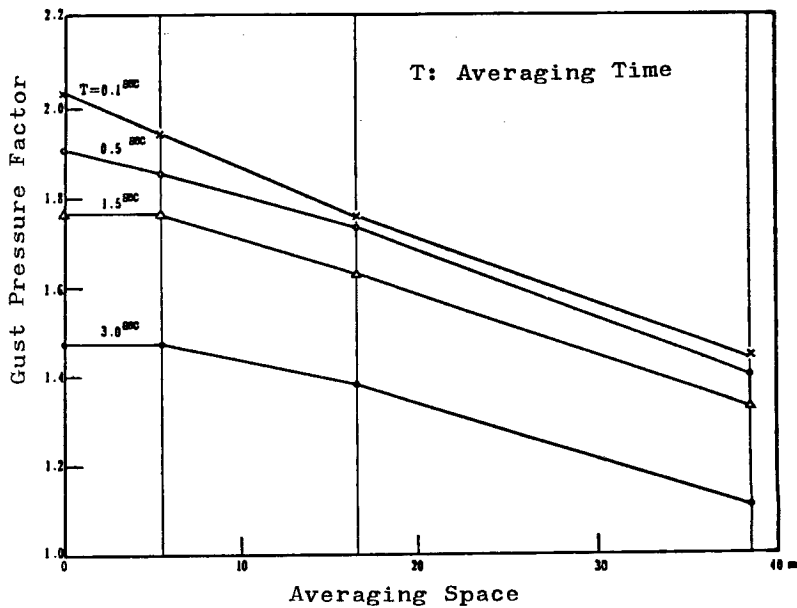


Fig. 5 Spatial correlations of velocity pressure fluctuations as averaged over 0.1 sec.


 Fig. 6 Variations of gust pressure factors with averaging space and time. (T ; averaging time of velocity pressure).

1点の場合の70%ぐらいに減少することが解る。このように空間的な平均によって変動が平滑化することは、1点のみで観測した風の変動に関する知識をそのままある広がりを持つ構造物の全面に作用する風圧であると考えて考察を進めることが不適当であることを示しており、変動風圧を考える際その広がり規模を考えねばならないことを示している。

今、1/10 sec 毎に読み取った風圧変動の各測定点間の同時相関係数を計算し、基準点に相対的な値として空間的な分布を示したものが Fig. 5 である。この図から見ると 5.5 m の距離ではほぼ 0.9 の相関係数を示しており、両者の変動は同じ形で同時に生じていると考えられるが、相関係数は距離と共に急速に減少し 22 m では 0.4 そして 30 m を越えたとほとんど零になってしまう。このことは 1/10 sec というような短い評価時間の風圧変動は 30 m 以上も離れば相互に無関係に生じており同時性はほとんどないことを示している。これは長い評価時間を取った場合とはかなり様子が異なっている。たとえば川鍋の観測³⁾による同様な海岸の埋立地の高さ 6 m で 50 m の間隔に取り付けた2つの風速計の記録について 1.5 sec の評価時間の風速の相関係数は約 0.4, 6 sec の評価時間で 0.5, 48 sec の評価時間では 0.7 と次第に大きな値を示す傾向が得られている結果とも比較出来る。

5. 突 風 率

風速の最大値を示すために、最大風速と平均風速の比を用いこれを突風率と呼んでいるが、速度圧についても同様に最大値と平均値の比として突風率を定義し前者と区別するために Gust Pressure Factor と呼ぶ

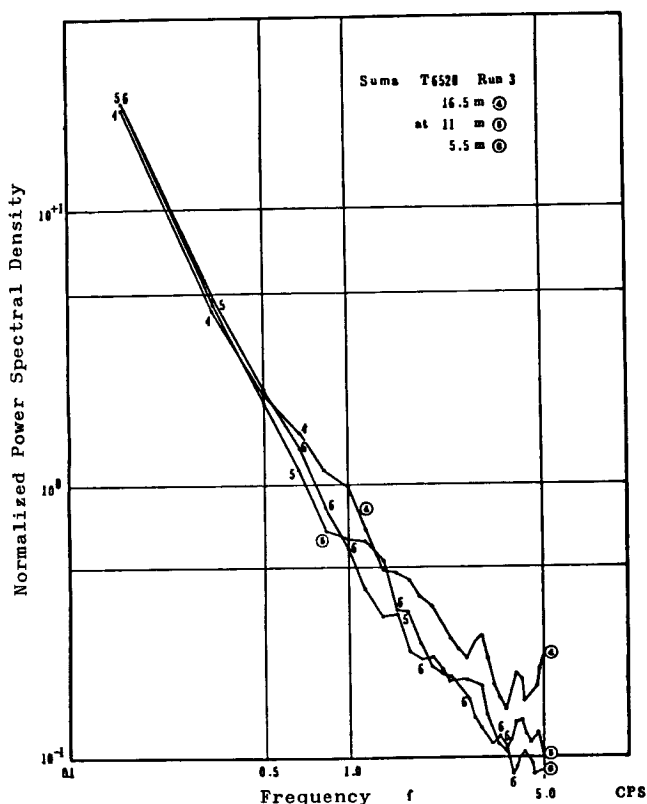


Fig. 7 Power spectra (normalized) of velocity pressure at different levels (Run 3).

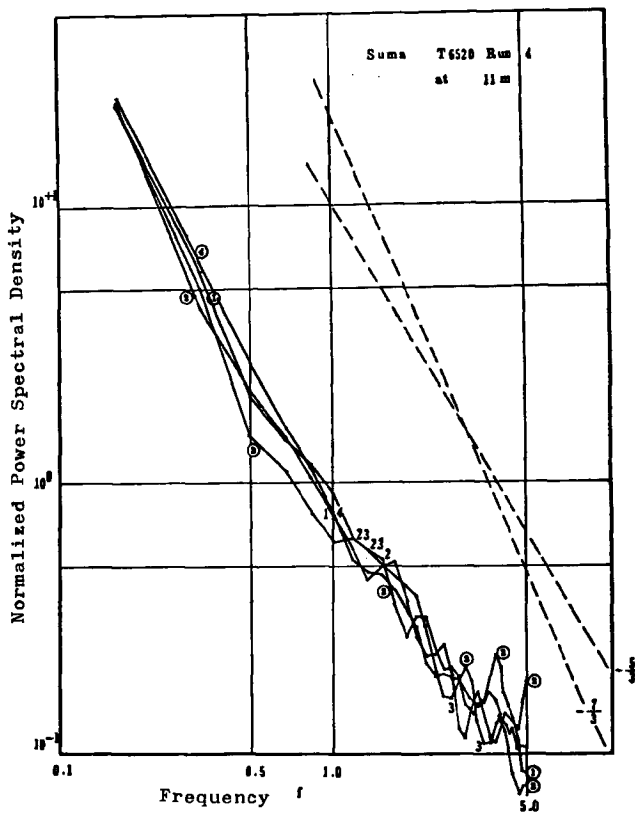


Fig. 8 Power spectra (normalized) of velocity pressure at different points at same level (Run 4).

ことにする。その値を空間的に平均した風圧についてさらに時間平均によって評価時間を変えた場合の値を示したものが Fig. 8 である。この突風率は Durst⁴⁾の方法により標準偏差から算出したものである。風速の突風率の評価時間との関係については先きに著者⁵⁾の調べた結果があるが空間的な拡がり考えた場合、評価時間と平均風速から求めた風向方向の広がり比べると横方向への減少は急速である。

6. 変動のスペクトル

各点での速度圧の変動のスペクトルを示したものが Fig. 7 および Fig. 8 である。各点でのスペクトルの形はいずれも良く一致しており、周波数と共にその巾に比例して減少している。巾指数は $-5/3$ にかなり近い値を示すようであり、風速について知られている結果に近い。

7. 結 語

以上暴風時における速度圧の変動の空間的な拡がりに関する点に重点をおいて調べたが、ほぼ常識的に考えられるような結果、すなわち短周期変動は少し距離が離れると急速に相関が落ち、拡がりのある面に働く風の作用を考える時には 1 点の観測をそのまま用いることは不適当であるという結論が得られている。今後さらに空間的な変動の性質を量的に表現するための研究をこの資料について進める予定である。

参 考 文 献

- 1) 石崎澁雄, 光田 寧: 暴風時における風圧力の変動について. 日本建築学会論文報告集, 第 150 号, 昭43. 8, 33-38頁.
- 2) Ishizaki, H. and Y. Mitsuta: Observational study of turbulent structure of high winds, Part 1. Bull. Disas. Prev. Res. Inst. Kyoto Univ., Vol. 16, Part 1, No. 104, Sept., 1966, pp. 1-9.
- 3) 川鍋安次: 西寄りの季節風時における乱れの横方向の拡がりについて. 大阪管区気象研究会誌, 昭和43年度, 昭和43. 6, p. 17.
- 4) Durst, C. S.: Wind speed over short periods of time. Meteor. Mag., Vol. 89, 1960, pp. 181-182.
- 5) Mitsuta, Y: Gust factor and analysis time of gust. J. Meteor. Soc. Jap., Ser. II, Vol. 40, 1962, pp. 242-244.